



**TUGAS AKHIR – ME141501**

**KAJIAN VARIABLE VALVE LIFT PADA GAS  
ENGINE DENGAN BERBASIS PADA SIMULASI**

**Laurensius Henry Pratama Putra  
NRP 4212 100 079**

**Dosen Pembimbing:  
Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Semin, ST. MT. Ph.D.**

**Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya 2016**



**FINAL PROJECT– ME141501**

**STUDY OF VARIABLE VALVE LIFT ON THE GAS  
ENGINE BASED ON SIMULATION**

**Laurensius Henry Pratama Putra  
NRP 4212 100 079**

**Supervisor :  
Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Semin, ST. MT. Ph.D.**

**Department of Marine Engineering  
Faculty of Marine Technology  
Sepuluh Nopember Institut of Technology  
Surabaya 2016**

## **LEMBAR PENGESAHAN**

### **KAJIAN VARIABLE VALVE LIFT PADA GAS ENGINE DENGAN BERBASIS PADA SIMULASI**

#### **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

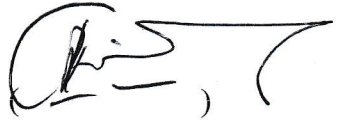
**Laurensius Henry Pratama Putra**

**NRP : 4212 100 079**

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Dr. I Made Ariana, ST. MT.

Semin, ST. MT. Ph.D.



**SURABAYA  
JULI 2016**

# **LEMBAR PENGESAHAN**

## **KAJIAN VARIABLE VALVE LIFT PADA GAS ENGINE DENGAN BERBASIS PADA SIMULASI**

### **TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik  
pada

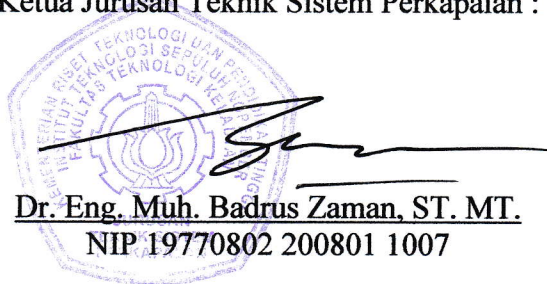
Bidang Studi Marine Power Plant (MPP)  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

**Laurensius Henry Pratama Putra**  
**NRP : 4212 100 079**

Disetujui oleh

Ketua Jurusan Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. Muh. Badrus Zaman, ST. MT.  
NIP 19770802 200801 1007

# KAJIAN VARIABLE VALVE LIFT PADA GAS ENGINE DENGAN BERBASIS PADA SIMULASI

Nama Mahasiswa : Laurensius Henry Pratama Putra  
NRP : 4212 100 079  
Dosen Pembimbing : Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Semin, ST. MT. Ph.D.

## ABSTRAK

Daya atau power adalah faktor yang sangat penting dalam suatu motor pembakaran dalam. Hingga saat ini terdapat berbagai inovasi dari perkembangan motor bakar dalam yang bertujuan agar meningkatkan daya keluaran dengan tidak memperbesar ukuran silinder. Salah satunya adalah teknologi *variable valve lift*. Teknologi ini menggunakan *multiple valve lift*, yaitu dengan menggunakan *high valve lift* dan *low valve lift*. *High valve lift* digunakan untuk meningkatkan torsi motor bakar dalam saat putaran tinggi. Torsi yang meningkat akan menambah daya motor bakar dengan tidak memperbesar ukuran dari motor bakar tersebut. Pada penelitian ini, aplikasi GT-POWER membuat simulasi motor bakar gas. Setelah itu dilakukan variasi *intake valve lift* hingga 3 variasi yang berbeda. Variasi tersebut adalah 1.5x, 2.0x dan 2.5x dari nilai *valve lift default* yang diberi nama mode *modified*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa 1.5x menghasilkan daya yang jauh lebih tinggi dan konsumsi bahan bakar lebih baik dari default, 2.0x yang lebih baik dari 1.5x, dan 2.5x yang sedikit lebih baik dari 2.0x yang terjadi pada putaran mesin tinggi. Hal ini terjadi karena pembakaran dalam saat mode *modified* manapun lebih baik daripada mode *default* pada putaran tinggi. Sedangkan dalam putaran rendah, semua jenis *valve lift* memiliki daya dan konsumsi bahan bakar yang relatif sama.

**Kata kunci:** *intake valve lift, gas engine, simulation, variable valve lift.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# STUDY OF VARIABLE VALVE LIFT ON THE GAS ENGINE BASED ON SIMULATION

*Student Name* : Laurensius Henry Pratama Putra  
*Student Number* : 4212 100 079  
*Advisor* : Dr. I Made Ariana, ST. MT.  
Semin, ST. MT. Ph.D.

## ABSTRACT

*Power is a very important factor in an internal combustion engine. Until now there are a range of innovative developments in motor fuel that aims to increase the output power by not enlarging the size of the cylinder. One of them is the variable valve lift technology. This technology uses multiple valve lift, ie using high valve lift and low valve lift. High valve lift is used to increase the motor torque when the fuel in high rotation. Torque increases will add to the motor fuel by not enlarging the size of the motor fuel. In this study, the GT-POWER applications simulate gas motor fuel. Then the intake valve lift to vary up to 3 different variations. Such variations are 1.5x, 2.0x and 2.5x of valve lift value default, this modifications named modiflicated mode. The results showed that the 1.5x produce much higher power and better fuel consumption than the default, 2.0x better than 1.5x, and 2.5x slightly better than 2.0x, all of them occurs at high engine speed. This occurs because the current combustion mode modiflicated any better than the default mode at high speed. While engine at low speed, all type of valve lift has the power and fuel consumption is relatively same.*

**Keywords:** *intake valve lift, gas engine, simulation, variable valve lift.*

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, yang selalu melimpahkan rahmatNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul “Kajian Variable Valve Lift pada Gas Engine Dengan Berbasis pada Simulasi”. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program sarjana strata 1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Orang tua penulis, Bapak Andreas Pratondo dan Ibu Ernaningtyas yang selalu mendoakan serta memberi dukungan dan semangat.
2. Bapak Dr. I Made Ariana, ST. MT. dan Bapak Semin, ST. MT. Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya yang telah memberi ilmu serta motivasi selama proses pengerjaan.
3. Bapak A.A.B. Dinariyana D.P., ST. MES. Ph.D. selaku Dosen Wali yang telah memberi petunjuk, amanah dan nasehat layaknya orang tua sendiri selama 4 tahun ini sehingga dapat menyelesaikan semua perkuliahan dengan baik.
4. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
5. Seluruh grader dan teman-teman yang mengambil skripsi di Laboratorium *Marine Power Plant*, serta rekan-rekan BISMARCK '12 yang selalu memberi dukungan.
6. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran sangat dibutuhkan untuk memperbaiki penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan rekan mahasiswa.

Surabaya, Juli 2016

Penulis

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	v
KATA PENGANTAR .....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xv
BAB I : PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar belakang .....	1
1.2 Rumusan Permasalahan .....	2
1.3 Batasan Masalah .....	3
1.4 Tujuan .....	4
1.5 Manfaat .....	4
BAB II : TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Hasil Penelitian yang Relevan .....	5
2.1.1 Honda - VTEC .....	5
2.2 Teori yang Digunakan .....	9
2.2.1 Efisiensi Volumetrik.....	9
2.2.2 Katup Intake .....	10
2.2.3 Spark-Ignited Gan Engine .....	11
BAB III : METODOLOGI PENELITIAN.....	13
3.1 Metode yang Digunakan.....	13
BAB IV : HASIL DAN PEMBAHASAN .....	17
4.1 Data Engine yang Digunakan .....	17
4.2 Pemodelan Gas Engine 6 Silinder .....	17
4.2.1 Edit Data Goemetri Silinder .....	18
4.2.2 Edit Jalur Katup.....	19
4.2.3 Pembuatan Injektor Gas .....	20
4.2.4 Edit Data Fluis Initial State .....	22
4.2.5 Pembuatan Komponen Throttle.....	22
4.2.6 Data Default Intake Valve Lift.....	23
4.2.7 Case Setup.....	26
4.2.8 Simulasi Model Default.....	26

4.2.9 Hasil Simulasi Default.....	27
4.3 Modifikasi Valve Lift .....	35
4.3.1 Penggambaran Bentuk Lift Array Modifikasi.....	35
4.3.2 Hasil Simulasi 1.5x Modified Valve Lift.....	37
4.3.3 Hasil Simulasi 2.0x Modified Valve Lift.....	44
4.3.4 Hasil Simulasi 2.5x Modified Valve Lift.....	51
4.4 Pembahasan .....	59
4.4.1 Perbandingan Daya Keluaran .....	59
4.4.2 Perbandingan Torsi.....	60
4.4.3 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar .....	62
4.4.4 Data Penguat .....	64
4.4.5 RPM yang Tepat untuk Pergantian Mode .....	76
BAB V : KESIMPULAN DAN SARAN.....	81
5.1 Kesimpulan .....	81
5.2 Saran .....	81
DAFTAR PUSTAKA .....	83

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perbedaan Profil Cam .....	5
Gambar 2.2	<i>Low and High Valve Lift</i> .....	6
Gambar 2.3	<i>Engine at Low Speed</i> .....	6
Gambar 2.4	<i>Engine at High Speed</i> .....	7
Gambar 2.5	<i>VTEC Engine Torque Chart</i> .....	7
Gambar 2.6	<i>Honda Integra JDM 96-SpecR Engine Dyno Chart</i> ..	8
Gambar 2.7	Udara Aliran Katup Masuk.....	11
Gambar 2.8	<i>SG-Engine</i> Selama Langkah Kompresi .....	12
Gambar 3.1	Diagram Metodologi.....	13
Gambar 3.2	Pemodelan <i>Spark-Ignited Engine GT-POWER</i> .....	13
Gambar 4.1	<i>Default Model Diesel_6cyl_TC.gtm</i> .....	17
Gambar 4.2	Jendela <i>Engine - Cylinder Geometry</i> .....	18
Gambar 4.3	Jendela <i>Cylinder Geometry</i> .....	18
Gambar 4.4	Jalur Katup Bawaan .....	19
Gambar 4.5	Jalur Katup Setelah Modifikasi .....	19
Gambar 4.6	Jendela <i>Gas Inject - Rate</i> .....	20
Gambar 4.7	Jendela <i>Gas Inject – Timing-General</i> .....	20
Gambar 4.8	Jendela <i>Value Selector Fluid Object</i> .....	21
Gambar 4.9	Peletakan Komponen Injektor .....	21
Gambar 4.10	Jendela <i>Fluid Initial State SI</i> .....	22
Gambar 4.11	Jendela <i>Throttle</i> .....	22
Gambar 4.12	Peletakan Komponen <i>Throttle</i> .....	23
Gambar 4.13	Jendela <i>Intake Valve - Main</i> .....	23
Gambar 4.14	Jendela <i>Intake Valve – Lift Array</i> .....	24
Gambar 4.15	<i>Case Setup</i> .....	26
Gambar 4.16	Tombol <i>Run Simulation</i> .....	26
Gambar 4.17	Proses Simulasi GT-POWER .....	27
Gambar 4.18	Grafik <i>Default BMEP</i> .....	28
Gambar 4.19	Grafik <i>Default Brake Power</i> .....	29
Gambar 4.20	Grafik <i>Default Brake Torque</i> .....	31
Gambar 4.21	Grafik <i>Default Fuel Flow</i> .....	33
Gambar 4.22	Grafik <i>Default BSFC</i> .....	34
Gambar 4.23	<i>Variable Valve Lift</i> .....	35
Gambar 4.24	Grafik <i>1.5 Modified BMEP</i> .....	38
Gambar 4.25	Grafik <i>1.5 Modified Brake Power</i> .....	39
Gambar 4.26	Grafik <i>1.5 Modified Brake Torque</i> .....	41
Gambar 4.27	Grafik <i>1.5 Modified Fuel Flow</i> .....	43
Gambar 4.28	Grafik <i>1.5 Modified BSFC</i> .....	44

Gambar 4.29	Grafik 2.0 <i>Modified BMEP</i> .....	45
Gambar 4.30	Grafik 2.0 <i>Modified Brake Power</i> .....	46
Gambar 4.31	Grafik 2.0 <i>Modified Brake Torque</i> .....	48
Gambar 4.32	Grafik 2.0 <i>Modified Fuel Flow</i> .....	50
Gambar 4.33	Grafik 2.0 <i>Modified BSFC</i> .....	51
Gambar 4.34	Grafik 2.5 <i>Modified BMEP</i> .....	52
Gambar 4.35	Grafik 2.5 <i>Modified Brake Power</i> .....	53
Gambar 4.36	Grafik 2.5 <i>Modified Brake Torque</i> .....	55
Gambar 4.37	Grafik 2.5 <i>Modified Fuel Flow</i> .....	57
Gambar 4.38	Grafik 2.5 <i>Modified BSFC</i> .....	58
Gambar 4.39	Grafik Perbandingan Daya .....	60
Gambar 4.40	Grafik Perbandingan Torsi .....	61
Gambar 4.41	Grafik Perbandingan <i>Fuel Flow</i> .....	63
Gambar 4.42	Grafik Perbandingan BSFC .....	64
Gambar 4.43	Grafik Perbandingan <i>Volumetric Efficiency</i> .....	65
Gambar 4.44	Grafik Perbandingan <i>Air Flow</i> .....	66
Gambar 4.45	Grafik Perbandingan Temperatur 800 RPM.....	67
Gambar 4.46	Grafik Perbandingan <i>Heat Release</i> 800 RPM .....	68
Gambar 4.47	Grafik Perbandingan Temperatur 1400 RPM.....	69
Gambar 4.48	Grafik Perbandingan <i>Heat Release</i> 1400 RPM .....	69
Gambar 4.49	Grafik Perbandingan Temperatur 2600 RPM.....	71
Gambar 4.50	Grafik Perbandingan <i>Heat Release</i> 2600 RPM .....	71
Gambar 4.51	Grafik Perbandingan P-V Diagram 800 RPM .....	73
Gambar 4.52	Grafik Perbandingan P-V Diagram 1400 RPM .....	74
Gambar 4.53	Grafik Perbandingan P-V Diagram 2600 RPM .....	75

## DAFTAR TABEL

Tabel 4.1	Tabel <i>Default Lift Array</i> .....	24
Tabel 4.2	Tabel Data <i>Default BMEP</i> .....	28
Tabel 4.3	Tabel Data <i>Default Brake Power</i> .....	30
Tabel 4.4	Tabel Data <i>Default Brake Torque</i> .....	31
Tabel 4.5	Tabel Data <i>Default Fuel Flow</i> .....	32
Tabel 4.6	Tabel Data <i>Default BSFC</i> .....	33
Tabel 4.7	Tabel <i>Modified Lift Array</i> .....	36
Tabel 4.8	Tabel Data <i>1.5x Modified BMEP</i> .....	38
Tabel 4.9	Tabel Data <i>1.5x Modified Brake Power</i> .....	40
Tabel 4.10	Tabel Data <i>1.5x Modified Brake Torque</i> .....	41
Tabel 4.11	Tabel Data <i>1.5x Modified Fuel Flow</i> .....	42
Tabel 4.12	Tabel Data <i>1.5x Modified BSFC</i> .....	43
Tabel 4.13	Tabel Data <i>2.0x Modified BMEP</i> .....	45
Tabel 4.14	Tabel Data <i>2.0x Modified Brake Power</i> .....	47
Tabel 4.15	Tabel Data <i>2.0x Modified Brake Torque</i> .....	48
Tabel 4.16	Tabel Data <i>2.0x Modified Fuel Flow</i> .....	49
Tabel 4.17	Tabel Data <i>2.0x Modified BSFC</i> .....	50
Tabel 4.18	Tabel Data <i>2.5x Modified BMEP</i> .....	52
Tabel 4.19	Tabel Data <i>2.5x Modified Brake Power</i> .....	54
Tabel 4.20	Tabel Data <i>2.5x Modified Brake Torque</i> .....	55
Tabel 4.21	Tabel Data <i>2.5x Modified Fuel Flow</i> .....	56
Tabel 4.22	Tabel Data <i>2.5x Modified BSFC</i> .....	57
Tabel 4.23	Tabel Data <i>Selisih Daya</i> .....	59
Tabel 4.24	Tabel Data <i>Selisih Torsi</i> .....	61
Tabel 4.25	Tabel Data <i>Selisih Fuel Flow</i> .....	62
Tabel 4.26	Tabel Data <i>Selisih BSFC</i> .....	63
Tabel 4.27	Tabel Data <i>Selisih Volumetric Efficiency</i> .....	65
Tabel 4.28	Tabel Data <i>Selisih Air Flow</i> .....	66
Tabel 4.29	Tabel <i>Interpolasi Selisih Daya</i> .....	77
Tabel 4.30	Tabel <i>Interpolasi Selisih BSFC</i> .....	78

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Daya atau power dibutuhkan dalam segala aspek kehidupan. Saat ini dalam dunia transportasi darat maupun laut, daya motor bakar digunakan tidak hanya untuk menggerakkan suatu alat transportasi, melainkan untuk menjalankan beberapa fitur tambahan dari alat transportasi tersebut. Contohnya adalah dalam mobil, mobil era dahulu memiliki motor bakar yang digunakan hanya untuk menggerakkan mobil tersebut. Namun saat ini mobil telah memiliki banyak fitur, motor bakar tidak hanya digunakan untuk menggerakkan mobil sehingga dapat melaju, namun juga untuk memberikan power terhadap berbagai fitur seperti *air conditioner*, *sistem komputer*, *power steering*, *power window*, *auto-drive*, dan lain sebagainya.

Hingga saat ini terdapat berbagai inovasi dari perkembangan motor diesel maupun otto yang bertujuan agar meningkatkan daya keluaran dengan tidak memperbesar ukuran silinder. Salah satu aspek yang sedang tren dikalangan industri otomotif adalah bagaimana mengatur besarnya bukaan katup dan bagaimana mengatur timing dari mekanisme katup. Dengan adanya teknologi ini, kendaraan dapat memperoleh hematnya bahan bakar dan daya keluaran yang cukup besar tanpa menambah ukuran motor bakar.

Teknologi *variable valve lift* adalah teknologi yang cukup menjanjikan pada permesinan modern ini. Teknologi ini menggunakan *multiple valve lift*, yaitu dengan menggunakan *high valve lift* dan *low valve lift*. *High valve lift* meningkatkan daya motor pada putaran tinggi. Dan jika pada putaran rendah, *low valve lift* akan diaktifkan untuk mengurangi konsumsi bahan bakar.

## 1.2 Rumusan Permasalahan

Untuk mencapai daya keluaran yang besar, cara yang konvensional adalah memperbesar volume ruang bakar. Namun cara ini dianggap tidak efektif, hal ini dikarenakan akan menambah konsumsi bahan bakar dan besarnya dimensi motor bakar.

Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap performa motor bakar adalah efisiensi volumetrik. Efisiensi volumetrik didefinisikan sebagai perbandingan antara massa udara aktual yang masuk ke dalam ruang bakar dan massa udara ideal yang masuk ke dalam ruang bakar. Semakin sedikitnya efisiensi volumetrik maka pembakaran akan semakin tidak sempurna, hal ini dikarenakan jumlah udara yang masuk ke dalam ruang bakar akan semakin sedikit sesuai dengan teori segitiga api. Dalam teori segitiga api, ada 3 faktor yang mempengaruhi pembakaran. Dalam ruang bakar motor otto, 3 faktor tersebut adalah udara, bahan bakar, dan *spark plug* sebagai pematik.

Ada beberapa komponen yang mempengaruhi efisiensi volumetrik, seperti *intake manifold*, *intake filter*, *turbocharger*, dan *intake valve*. Dalam tugas akhir ini akan dipelajari lebih lanjut tentang variasi dalam *intake valve*. *Intake valve* adalah katup yang bekerja pada sistem masuknya udara dan bahan bakar dalam motor bakar yang bekerja dengan siklus otto. *Intake valve* memiliki karakteristik tertentu, salah satu karakteristiknya adalah besarnya bukaan katup atau *valve lift*. *Valve lift* ini divariasikan sedemikian rupa sehingga dapat meningkatkan efisiensi volumetrik.

Permasalahan lebih lanjut adalah ketika putaran motor bakar terlalu tinggi, efisiensi volumetrik akan mengalami penurunan dikarenakan jangka waktu siklus yang pendek. Namun ketika bukaan katup intake terlalu besar dalam putaran rendah, banyaknya campuran udara dan bahan bakar yang masuk ke dalam ruang bakar akan meningkatkan konsumsi bahan bakar.

Untuk memvariasikan *intake valve lift*, beberapa inovasi teknologi telah dikembangkan oleh perusahaan-perusahaan otomotif di dunia. Teknologi yang dapat meningkatkan efisiensi volumetrik dari motor bakar adalah ukuran antara lain V-TEC milik Honda, Valvetronic milik BMW, dan lain sebagainya. Setiap produk memiliki desain yang khas.

Pengembangan teknologi dalam bidang ini cukup signifikan pada motor bakar darat, namun hal ini belum banyak diterapkan pada bidang perkapalan.

Dalam bidang perkapalan, untuk mendapatkan daya yang besar maka ukuran *main engine* akan semakin besar juga. Ukuran *main engine* adalah suatu aspek yang penting karena jika ukuran *main engine* terlalu besar, maka kerugian dimensi yang dialami kapal akan semakin besar juga.

Berdasarkan uraian diatas disampaikan beberapa masalah yang akan dibahas, antara lain:

1. Berapakah besarnya bukaan katup yang tepat untuk mode efisiensi (*low valve lift*) dan mode daya (*high valve lift*) pada motor bakar kapal?
2. Berapakah putaran yang tepat untuk mengaktifkan mode daya (*high valve lift*) pada motor bakar kapal?

### **1.3 Batasan Masalah**

1. Fokus analisa dilakukan pada besaran daya keluaran pada putaran motor bakar yang berbeda.
2. Dilakukan pada motor diesel kapal laut dengan bahan bakar utama natural gas.
3. Tidak menganalisa segi ekonomis.

## **1.4 Tujuan**

Penulisan tugas akhir ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui besarnya bukaan katup yang tepat untuk mode efisiensi (*low valve lift*) dan mode daya (*high valve lift*)
2. Mengetahui putaran yang tepat untuk mengaktifkan mekanisme *high valve lift*

## **1.5 Manfaat**

Manfaat yang dapat diperoleh dari penulisan tugas akhir ini adalah :

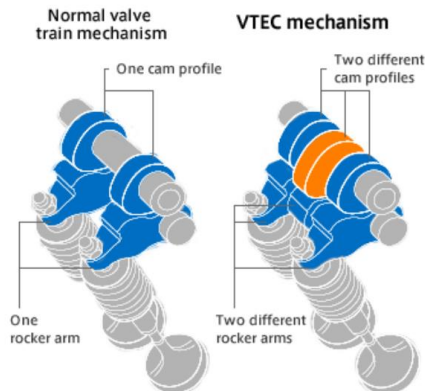
1. Mendapatkan daya yang besar pada motor bakar kapal laut dengan tidak memperbesar ukuran
2. Mendapatkan 2 mode mesin bakar, mode efisiensi dan mode daya dalam motor bakar kapal laut

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

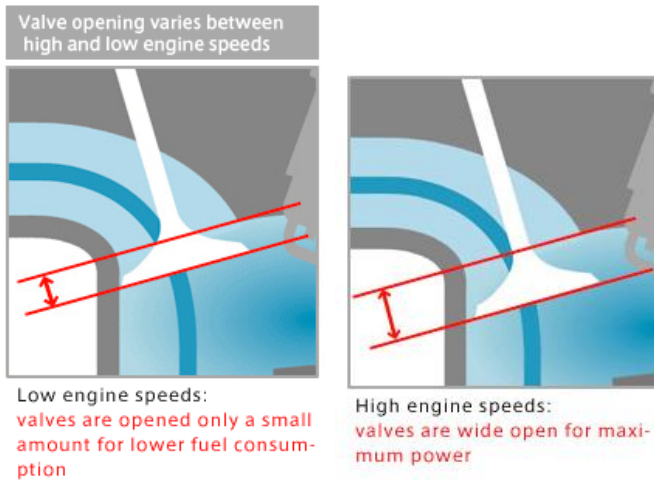
### 2.1 Hasil Penelitian yang Relevan

#### 2.1.1 Honda – VTEC

VTEC (*Variable Valve Timing dan Lift Electronic Control*) adalah sistem yang dikembangkan oleh Honda untuk meningkatkan efisiensi volumetrik dari *four-stroke internal combustion engine*. Sistem VTEC menggunakan dua profil camshaft dan aktuasi hidrolis. Sistem VTEC menyediakan motor bakar dengan valve timing untuk operasi RPM rendah dan tinggi. Dalam bentuk dasar, sistem cam tunggal motor bakar konvensional diganti dengan dua profil cam: satu profil cam untuk stabilitas, RPM rendah, dan efisiensi bahan bakar, dan lainnya dirancang untuk memaksimalkan output daya, dan RPM tinggi. Switching operasi antara dua profil cam dikontrol oleh ECU yang memperhitungkan tekanan oli motor bakar, suhu mesin, kecepatan kendaraan, kecepatan mesin dan posisi throttle. (*Honda Technology Picture Book / VTEC, 2015*)

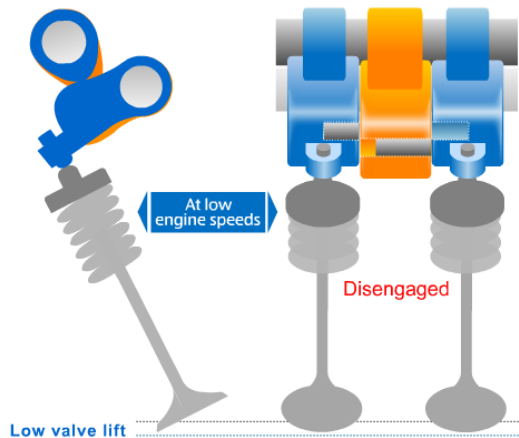


**Gambar 2.1** Perbedaan Profil Cam  
(Sumber : [world.honda.com](http://world.honda.com))



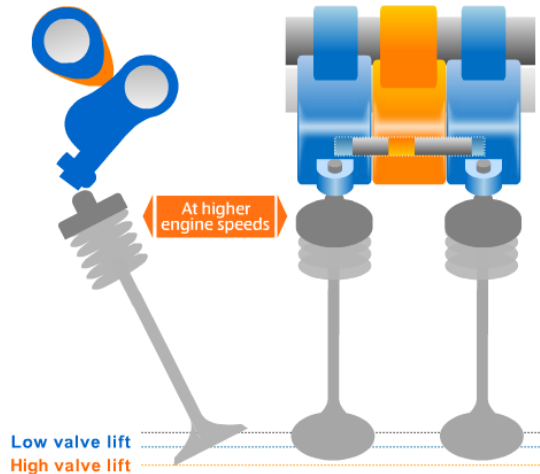
**Gambar 2.2** Low and High Valve Lift  
(Sumber : [world.honda.com](http://world.honda.com))

Pergantian antara bukaan katup tinggi dan bukaan katup rendah menggunakan dua profil cam dan dua rocker arm tiap silinder. Pergantian antara bukaan katup tinggi dan bukaan katup rendah menggunakan sistem hidrolik untuk mendorong / melepaskan pin geser, mengunci / membuka rocker arm tengah dan rocker arm lainnya. (*Honda Technology Picture Book / VTEC, 2015*)



**Tabel 2.3** Engine at Low Speed  
(Sumber : [world.honda.com](http://world.honda.com))

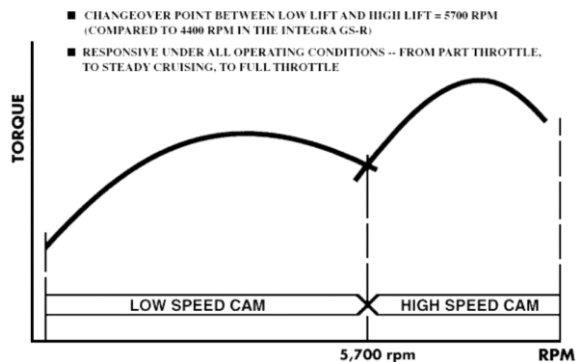
Pada kecepatan rendah, pin ditarik, lepas dari *rocker arm* tengah. Katup dioperasikan oleh dua profil cam rendah untuk mendorong katup dengan bukaan kecil (*Low valve lift*). Hal ini diperlihatkan pada **Gambar 2.3**.



**Gambar 2.4** Engine at High Speed

(Sumber : [world.honda.com](http://world.honda.com))

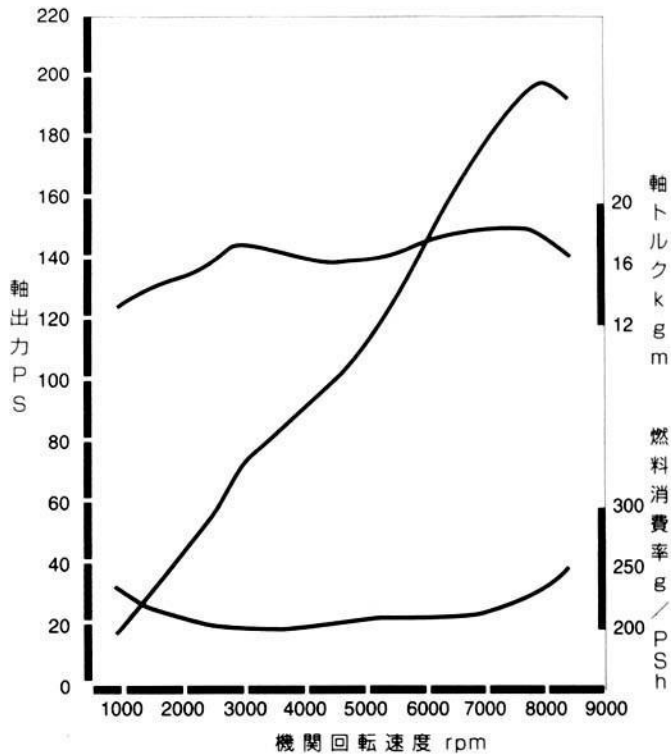
Teknologi VTEC meningkatkan torsi pada saat putaran tinggi seperti pada dibawah ini. **Gambar 2.5** menunjukkan kondisi operasi teknologi VTEC, terlihat bahwa *high valve lift* atau *high speed cam* beroperasi pada putaran mesin 5700 rpm keatas. Penggunaan VTEC dapat meningkatkan torsi dari mesin pada putaran tinggi.



**Gambar 2.5** VTEC Engine Torque Chart

(Sumber : [integratyper.org](http://integratyper.org))

**Gambar 2.6** adalah *Honda Integra JDM 96-SpecR Engine Dyno Chart* yang memperlihatkan grafik Power (PS), Torque (kgm), dan SFOC (g/PSh). **Gambar 2.6** memperlihatkan bahwa ada kenaikan torsi saat engine beroperasi pada 4500 rpm keatas dan daya yang merupakan fungsi linier dari torsi dan putaran juga naik.



**Gambar 2.6** *Honda Integra JDM 96-SpecR Engine Dyno Chart*  
(Sumber : [integratyper.org](http://integratyper.org))



## 2.2 Teori yang Akan Digunakan untuk Menyelesaikan Permasalahan

### 2.2.1 Efisiensi Volumetrik

Salah satu proses yang paling penting yang mengatur berapa banyak daya dan kinerja dapat diperoleh dari mesin adalah mendapatkan jumlah maksimum udara masuk ke dalam silinder pada tiap siklus. Lebih banyak udara berarti lebih banyak bahan bakar dapat dibakar dan lebih banyak energi dapat dikonversi ke daya keluaran. Mengatur volume yang relatif kecil dari bahan bakar cair masuk ke dalam silinder jauh lebih mudah daripada mengatur volume udara yang besar yang dibutuhkan untuk bereaksi dengan bahan bakar. Idealnya, massa udara sama dengan kerapatan udara dikalikan dengan volume displacement silinder dari udara atmosfer yang harus digunakan untuk setiap siklus. Namun, karena jangka waktu siklus pendek dan hambatan aliran udara yang disebabkan oleh saringan udara, karburator (jika ada), intake manifold, dan katup intake, volume udara kurang dari jumlah ideal udara memasuki silinder. (*Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, Willard W. Pulkrabek, 2003)

Efisiensi volumetrik didefinisikan sebagai:

$$\eta_v = m_a / \rho_a V_d$$

$$\eta_v = n \dot{m}_a / \rho_a V_d N$$

Dimana :

$m_a$  = mass of air into the engine (or cylinder) for one cycle

$\dot{m}_a$  = steady-state flow of air into the engine

$\rho_a$  = air density evaluated at atmospheric conditions outside

$V_d$  = displacement volume

$N$  = engine speed

$n$  = number of revolutions per cycle

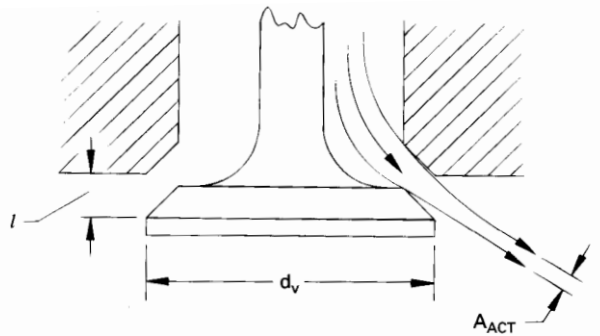
## 2.2.2 Katup Intake

Katup intake kebanyakan mesin adalah katup yang ditutup oleh dorongan pegas dan terbuka pada siklus yang tepat oleh camshaft mesin. Beberapa katup langka adalah katup rotari atau katup lengan, ditemukan di beberapa mesin.

Klep dan dudukan klep sebagian besar terbuat dari paduan baja keras atau, dalam beberapa kasus langka, keramik. Mereka terhubung dengan hydromechanical atau mekanik ke camshaft. Idealnya, mereka akan membuka dan menutup hampir seketika pada waktu yang tepat. Ini tidak mungkin dalam sistem mekanik, dan bukaan dan penutupan klep yang lebih lambat untuk menghindari keausan, kebisingan, dan obrolan. Lobus pada camshaft dirancang untuk memberikan pembukaan cepat tapi halus dan menutup tanpa tabrakan antarmuka mekanik. Hal ini memerlukan margin dalam kecepatan aktuasi katup.

Pada awalnya mesin memiliki camshaft dipasang dekat dengan crankshaft dan katup dipasang di blok mesin. Kemudian seiring dengan berkembangnya teknologi ruang pembakaran, katup dipindahkan ke kepala silinder (katup overhead), dan sistem mekanika panjang (*push rods, rocker arms, tappets*) dibutuhkan. Hal ini ditingkatkan dengan pemasangan camshaft di kepala mesin (yaitu, *overhead cam engine*). Kebanyakan mesin mobil modern memiliki satu atau dua camshaft dipasang di kepala silinder. Semakin dekat camshaft dipasang ke batang katup, semakin besar efisiensi mekanik dari sistem.

Jarak terbukanya antara katup dan dudukan katup (dimensi I pada Gambar 2.7) disebut valve lift dan umumnya beberapa milimeter atau beberapa sentimeter, tergantung pada ukuran motor bakar. (*Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine, Willard W. Pulkrabek, 2003*)



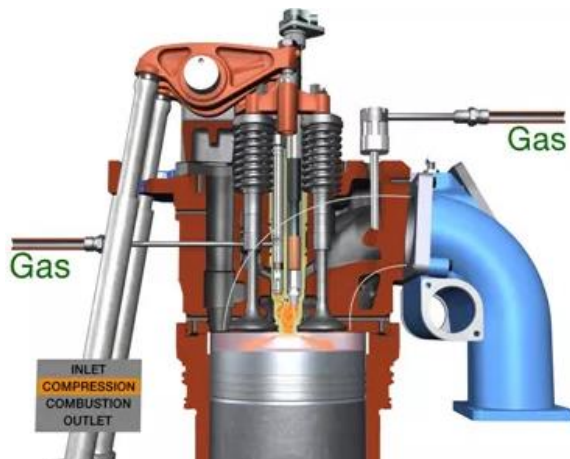
**Gambar 2.7** Udara Aliran Katup Masuk  
 (Sumber: *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*, 2003)

### 2.2.3 Spark-Ignited Gas Engine (SG Engine)

Mesin SG didasarkan pada siklus otto, dan menggunakan busi untuk menyalakan campuran udara dan bahan bakar diinjeksikan di bagian atas silinder. Pada siklus otto, campuran bahan bakar tidak mendapatkan cukup panas untuk terbakar tanpa adanya percikan, yang membedakannya dari siklus diesel. Dalam mesin diesel, udara dikompresi sampai suhu naik hingga suhu *auto-ignition* bahan bakar. Bahan bakar diinjeksikan ke dalam silinder dan terbakar karena udara panas kompresi dan daya ekspansi pembakaran mendorong piston ke bawah.

Gerakan piston dalam silinder disebut *stroke*. *Reciprocating engine* dideskripsikan dengan jumlah stroke untuk menyelesaikan satu siklus daya dan kecepatan crankshaft (dinyatakan dalam putaran per menit, rpm). Untuk pembangkit tenaga listrik, mesin empat-stroke mayoritas digunakan. Selama langkah isap, udara dan bahan bakar dicampur (mesin SG) atau udara (mesin diesel) ditarik masuk ke dalam silinder dengan piston bergerak turun ke posisi "titik mati bawah". Selama langkah kompresi di mesin SG, campuran udara dan bahan bakar dikompresi oleh piston dan dinyalakan oleh percikan dari steker. Auto-ignition di mesin SG dicegah dengan batas yang tepat pada rasio kompresi.

Mesin pembakaran dalam dapat menggunakan berbagai macam bahan bakar, termasuk *natural gas*, *light fuel oil*, *heavy fuel oil*, *biodiesel*, *biofuels*, dan *crude oil*. Mesin diesel umumnya lebih efisien daripada mesin SG, tetapi juga menghasilkan lebih banyak nitro-oksida (NOx), sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>), dan partikulat (PM). SO<sub>2</sub> dan pembentukan PM merupakan fungsi dari bahan bakar, namun dengan menggunakan natural gas menghasilkan emisi lebih rendah. Pembentukan NOx digabungkan dengan suhu pembakaran. Dalam mesin SG, premixing udara dengan bahan bakar untuk menghasilkan kondisi "lean" (lebih banyak udara daripada yang dibutuhkan untuk pembakaran) memiliki efek menurunkan suhu pembakaran dan menghambat pembentukan NOx. (*Combustion Engine for Power Generation: Introduction, Wärtsilä Corporation, 2015*)

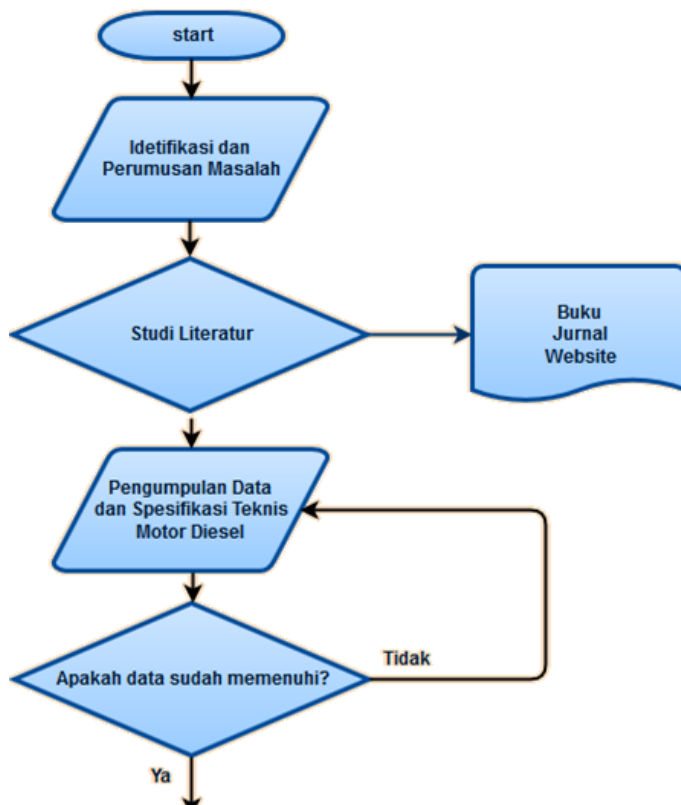


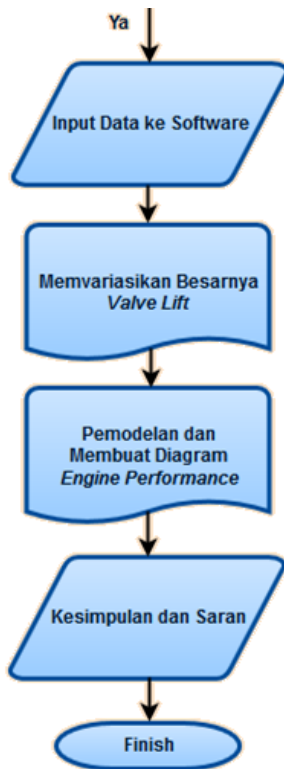
**Gambar 2.8** SG-Engine selama langkah kompresi  
(Sumber: [www.youtube.com/user/wartsilacorp](http://www.youtube.com/user/wartsilacorp))

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Metode yang Digunakan

Untuk menyelesaikan masalah diatas digunakan metode simulasi permodelan. Simulasi pemodelan ini menggunakan software. Software yang digunakan adalah GT-POWER. Dengan software ini, pemodelan *engine* dapat dilakukan dengan memasukkan data-data spesifikasi teknik suatu *engine*.





**Gambar 3.1** Diagram Metodologi

#### **a. Identifikasi Dan Perumusan Masalah**

Tahap memulai identifikasi masalah yang belum pernah tepecahkan. Dengan berlatar-belakang permasalahan dalam mencapai titik terendah konsumsi bahan bakar dan titik tertinggi daya motor bakar, yang dibahas pada penelitian ini adalah “Kajian Variable Valve Lift Pada Gas Engine Dengan Berbasis Pada Simulasi”. Penelitian ini membahas tentang penggunaan *variable valve lift mechainsm* pada *gas engine* yang memiliki ukuran besar.

## b. Studi Literatur

Tahap pencarian referensi untuk dijadikan acuan dalam pengerjaan tugas akhir. Referensi tersebut berkaitan dengan tema dan pengerjaan skripsi yang dikerjakan. Literatur yang dibaca yaitu berasal dari buku, jurnal dan *website*.

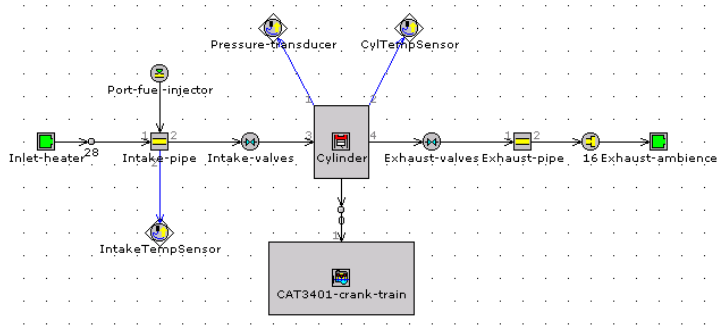
## c. Pengumpulan Data Dan Spesifikasi Motor Diesel

Pengumpulan data menunjang proses pengerjaan tugas akhir ini. Pengumpulan data didapatkan melalui buku, jurnal, maupun internet. Dalam penelitian ini, pengumpulan data berupa spesifikasi motor bakar dalam 4 langkah dengan bahan bakar utama gas.

## d. Input Data Ke Software

Proses pemasukan data motor diesel ke dalam software. Software yang digunakan adalah GT-POWER. Data yang di-*input* ke dalam software adalah data spesifikasi teknis motor bakar dalam yang dimodelkan.

## e. Pemodelan



**Gambar 3.2** Pemodelan *Spark-Ignited Engine* GT-POWER

Dalam pemodelan, GT-POWER digunakan untuk memvariasikan bukaan katup inlet yang tepat. Bukaan katup inlet dibagi menjadi 2, bukaan katup dengan penggunaan bahan bakar paling rendah dan bukaan katup dengan daya yang paling tinggi.

Variable yang diubah adalah dalam *Intake-Valve*. Dalam *intake valve* ada variabel *cam profile*. *Cam profile* inilah yang divariasikan untuk mencapai titik daya tertinggi dan titik konsumsi bahan bakar terendah.

#### **f. Analisa Data**

Setelah dilakukan pengumpulan data dan pemodelan dalam aplikasi GT-Power, langkah selanjutnya adalah melakukan analisa terhadap hasil output tenaga yang dihasilkan dari simulasi. Analisa dilakukan dengan cara memilih bukaan katup yang tepat pada putaran motor bakar tertentu.



## BAB IV

### HASIL DAN PEMBAHASAN

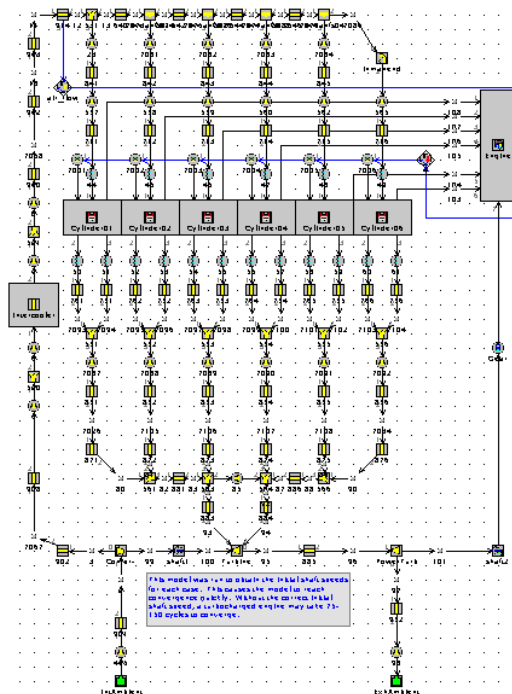
#### 4.1 Data Engine yang digunakan

- 1) Jumlah Silinder : 6
- 2) Bore : 117 mm
- 3) Stroke : 175 mm
- 4) Rasio Kompresi : 14,5

#### 4.2 Pemodelan Model Gas Engine 6 Silinder

Pemodelan engine menggunakan aplikasi GT-POWER. Template didapat dari **Examples > Engine\_Performance > Diesel\_6cyl\_TC > Diesel\_6cyl\_TC.gtm**

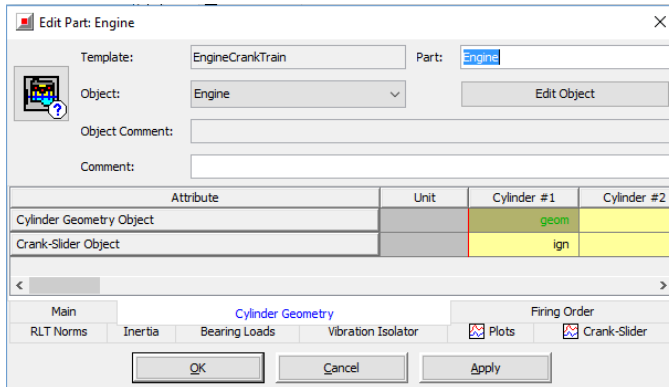
Berikut adalah model default dari **Diesel\_6cyl\_TC.gtm**



Gambar 4.1 Default Model *Diesel\_6cyl\_TC.gtm*

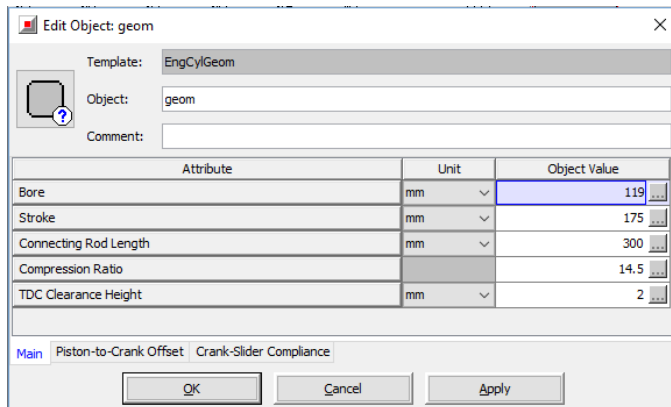
#### 4.2.1 Edit Data Geometri Silinder

Data diinput kedalam “Engine” tab “Cylinder Geometry” kemudian klik 2 kali “geom” kolom atribut “Cylinder Geometry Object” pada “Cylinder #1”. Pengubahan data silinder nomor 1 akan mewakili semua silinder.



**Gambar 4.2** Jendela Engine – Cylinder Geometry

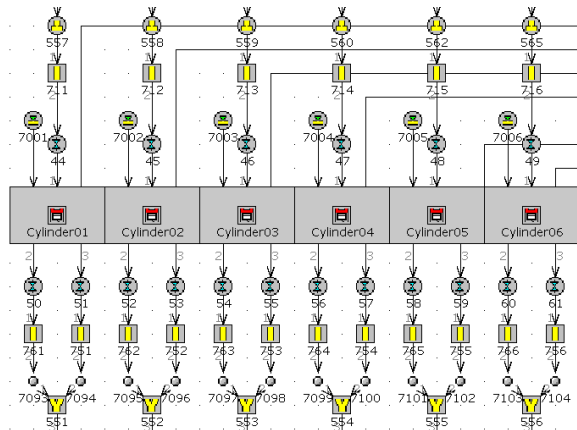
Data yang akan diubah adalah data rasio kompresi yang pada Tabel IV.3.1.3 ditunjukkan oleh atribut “Compression Ratio”. Data rasio kompresi diturunkan dari 16 menjadi 14,5.



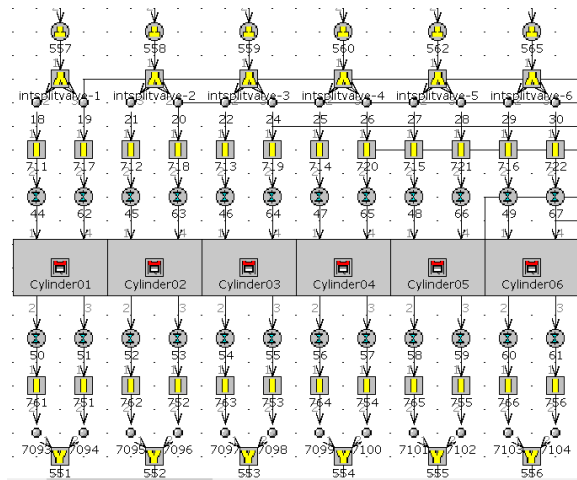
**Gambar 4.3** Jendela Cylinder Geometry

#### 4.2.2 Edit Jalur Katup

Pengubahan desain jalur katup dari 1 katup intake menjadi 2 katup intake.



**Gambar 4.4 Jalur Katup Bawaan**



**Gambar 4.5 Jalur Katup Setelah Modifikasi**

#### 4.2.3 Pembuatan Injektor Gas

Pembuatan Injektor gas mengacu pada buku *GT-SUITE Engine Performance Tutorials* bab 1.4.6. Injektor gas menggunakan template “*InjASSeqConn*” yang berada pada *Template Library*.

Template: InjAFSeqConn Part: GasInject-1

Object: GasInject Edit Object

Object Comment:

Comment:

Attribute	Unit	Object Value
Injector Delivery Rate	g/s	10
Fuel Ratio Specification		Air-to-Fuel
Fuel Ratio		12.5
Air Mass Flow Rate RLT		mflav:Throttle
Number of Shared Injectors		6

< >

Rate Timing-General Nozzle (DI Only) Plots

OK Cancel Apply

**Gambar 4.6** Jendela *Gas Inject - Rate*

Template: InjAFSeqConn Part: GasInject-1

Object: GasInject Edit Object

Object Comment:

Comment:

Attribute	Unit	Object Value
Part Giving Angle (def=Attached Cylinder)		
Driver Object Giving Angle		ign
Injection Timing Angle	deg	300
Injection Timing Flag		injection-start
Injector Location (Pipes only)		0.5
Injected Fluid Temperature	K	300
Fluid Object		methane-vap
Vaporized Fuel Fraction		ign

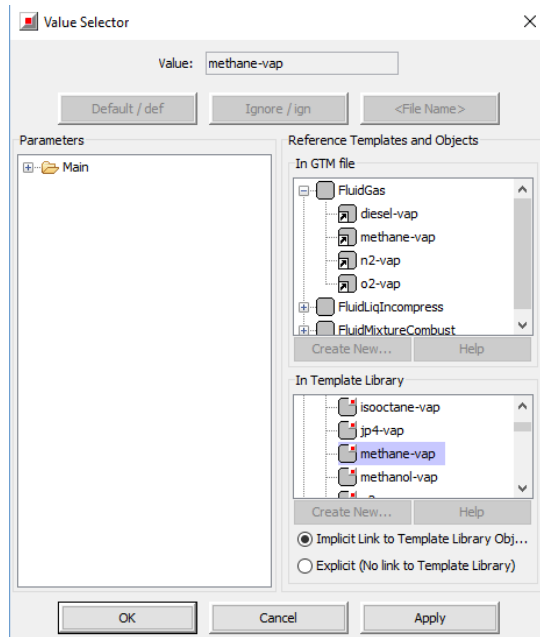
< >

Rate Timing-General Nozzle (DI Only) Plots

OK Cancel Apply

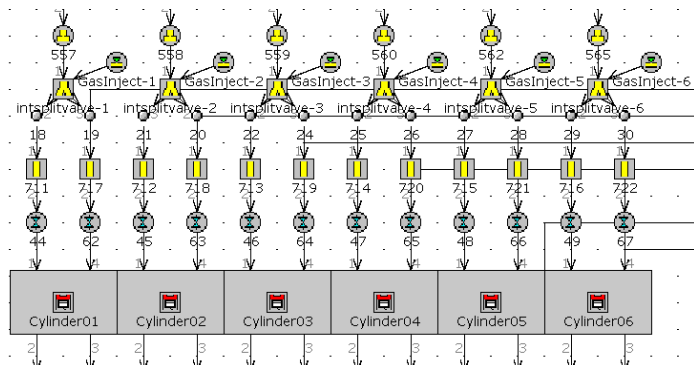
**Gambar 4.7** Jendela *Gas Inject – Timing-General*

Atribut “*Fluid Object*” pada *gas engine* diubah menjadi “*methane-vap*” karena *gas engine* menggunakan *methane* berupa *vapor* (uap). Object “*methane-vap*” didapat dari “*Value Selector*” yang telah disediakan oleh GT-POWER.



**Gambar 4.8** Jendela *Value Selector Fluid Object*

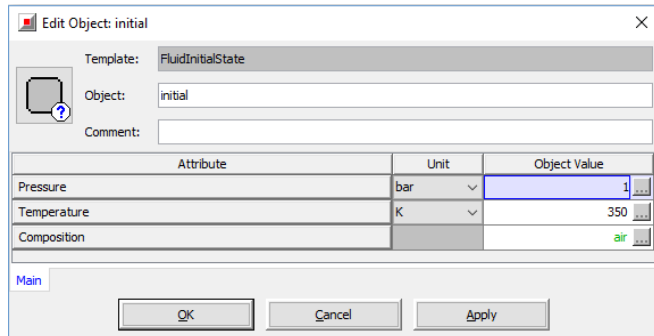
Selanjutnya komponen injektor diletakkan kedalam model. Komponen injektor ini diberi nama “*GasInject*”.



**Gambar 4.9** Peletakan Komponen Injektor

#### 4.2.4 Edit Data *Fluid Initial State*

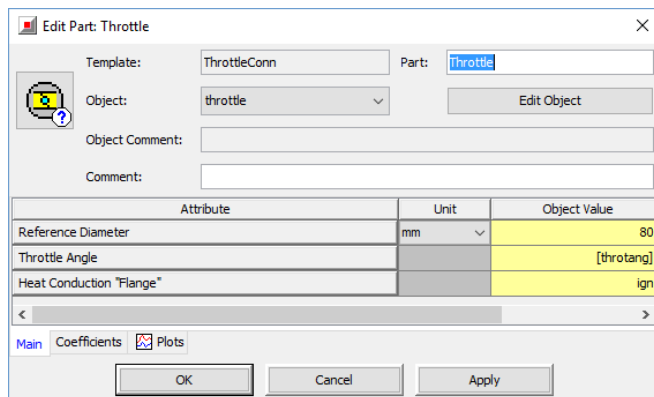
Pengubahan kondisi *Fluid Initial State* mengacu pada buku *GT-SUITE Engine Performance Tutorials* bab 1.4.2. Perbedaan dari mesin diesel (DI) dan mesin gas (SI) terletak pada atribut “*Pressure*”. Atribut “*Pressure*” yang semula 2,4 bar diubah menjadi 1 bar.



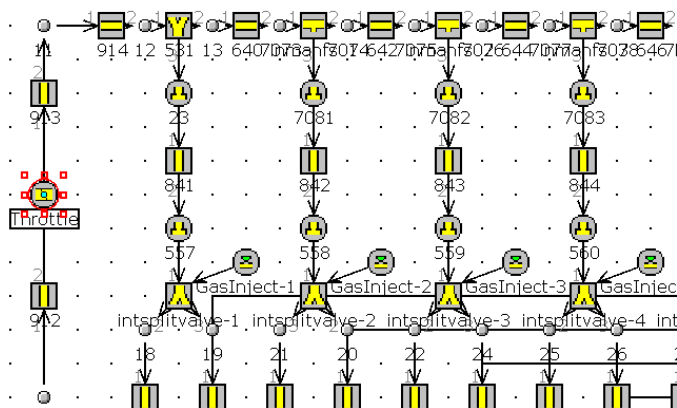
**Gambar 4.10** Jendela *Fluid Initial State SI*

#### 4.2.5 Pembuatan Komponen *Throttle*

Pembuatan komponen *throttle* ini dikarenakan tipe mesin adalah *Spark Ignited* (SI) sehingga diperlukan besarnya bukaan katup *throttle*. Template *throttle* dipelajari dari example *GT-POWER SI\_4cyl.gtm*. Diameter *throttle* disesuaikan dengan diameter pipa-pipa runner yang terletak berhubungan dengan komponen *throttle*.



**Gambar 4.11** Jendela *Throttle*



**Gambar 4.12** Peletakan Komponen *Throttle*

#### 4.2.6 Data *Default Intake Valve Lift Array*

*Default intake valve lift array* telah disediakan dari example GT-POWER. Data inilah yang akan divariasikan untuk model berikutnya. Data ini dapat dilihat pada box intake valve. Box intake valve pada model ini diberi nama dengan nomor 44, 45, 46, 47, 48, 49, 62, 63, 64, 65, 66, 67.

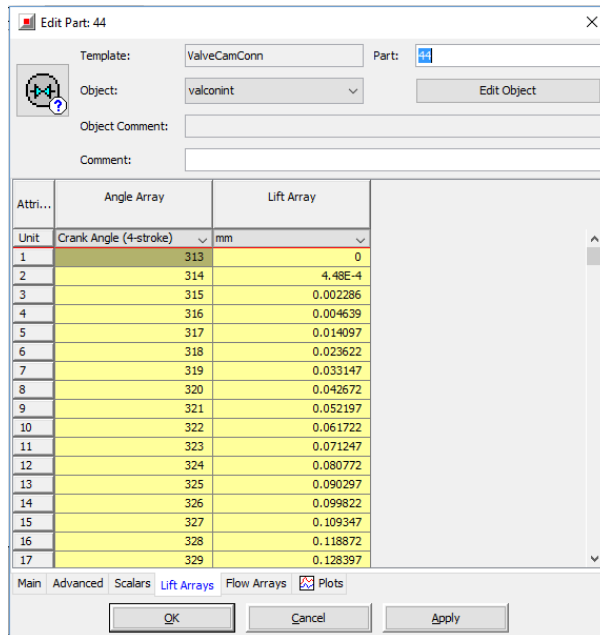
Berikut adalah tab utama (*Main*) dari jendela *intake valve*. Tab ini menyediakan nilai diameter dan derajat *timing*.

Attribute	Unit	Object Value
Valve Reference Diameter	mm	40
Valve Lash	mm	0
Cam Timing Angle	Crank An...	454
Cam Timing Anchor Reference		TDCFiring
Cam Timing Lift Array Reference		maxlift

At the bottom of the dialog, there are tabs for 'Main', 'Advanced', 'Scalars', 'Lift Arrays', 'Flow Arrays', and 'Plots'. The 'Main' tab is currently selected. At the bottom right, there are buttons for 'OK', 'Cancel', and 'Apply'.

**Gambar 4.13** Jendela *Intake Valve - Main*

Selanjutnya adalah tab *Lift Array* dari jendela *intake valve*. Tab ini menyediakan nilai besarnya bukaan katup tiap derajat *crankshaft*.



**Gambar 4.14** Jendela *Intake Valve – Lift Array*

Data lengkap Lift Array terdapat pada tabel berikut.

**Gambar 4.1** Tabel Default *Lift Array*

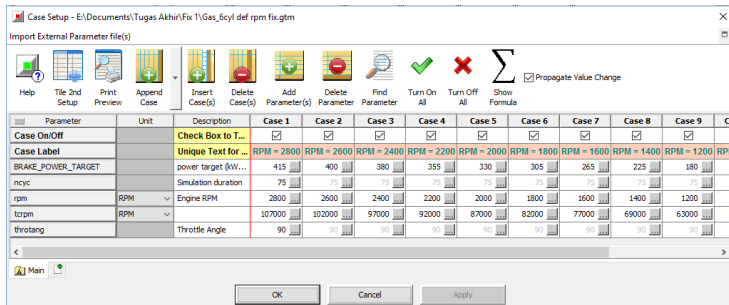
Crank Angle	Lift Array
degree	mm
315	0.002286
320	0.042672
325	0.090297
330	0.137922
335	0.185547
340	0.233172
345	0.297675
350	0.470387
355	0.753846
360	1.151955
365	1.701216
370	2.392629
375	3.197988
380	4.058752



<b>Crank Angle</b>	<b>Lift Array</b>
degree	mm
385	4.929379
390	5.774704
395	6.572502
400	7.312528
405	7.986014
410	8.594296
415	9.135109
420	9.610041
425	10.018140
430	10.361492
435	10.638789
440	10.851698
445	10.999596
450	11.083452
455	11.102593
460	11.058073
465	10.948288
470	10.774973
475	10.536046
480	10.233201
485	9.864089
490	9.431020
495	8.928989
500	8.362796
505	7.728202
510	7.029850
515	6.268851
520	5.454697
525	4.603114
530	3.740437
535	2.908679
540	2.154981
545	1.528358
550	1.050279
555	0.709015
560	0.471858
565	0.350253
570	0.300228
575	0.252603
580	0.204978
585	0.157353
590	0.109728
595	0.062103
600	0.014647

#### 4.2.7 Case Setup

Case Setup diatur per 200 rpm sebagaimana dalam Gambar dibawah ini.

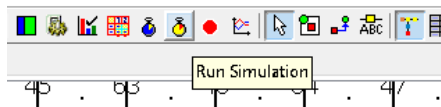


**Gambar 4.15** Case Setup

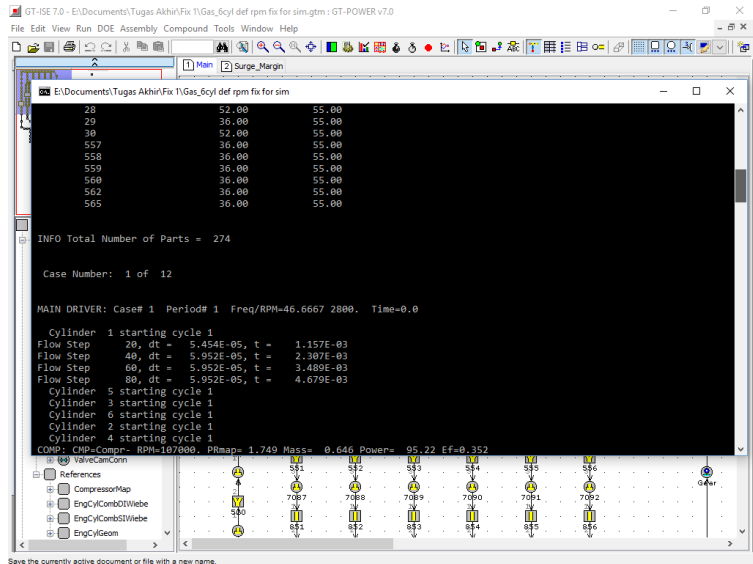
Simulasi dibagi menjadi 12 case dengan urutan putaran mesin (RPM) : 2800, 2600, 2400, 2200, 2000, 1800, 1600, 1400, 1200, 1000, 800, 600.

#### 4.2.8 Simulasi Default Model

Model disimulasikan dengan menekan tombol *Run Simulation* pada bar GT-POWER.



**Gambar 4.16** Tombol Run Simulation



**Gambar 4.17** Proses Simulasi GT-POWER

#### 4.2.9 Hasil Simulasi Default

Hasil Simulasi berupa grafik dan tabel. Hasil simulasi GT-POWER dapat dilihat melalui GT-POST.

Beberapa hasil yang dilihat dalam penelitian ini adalah

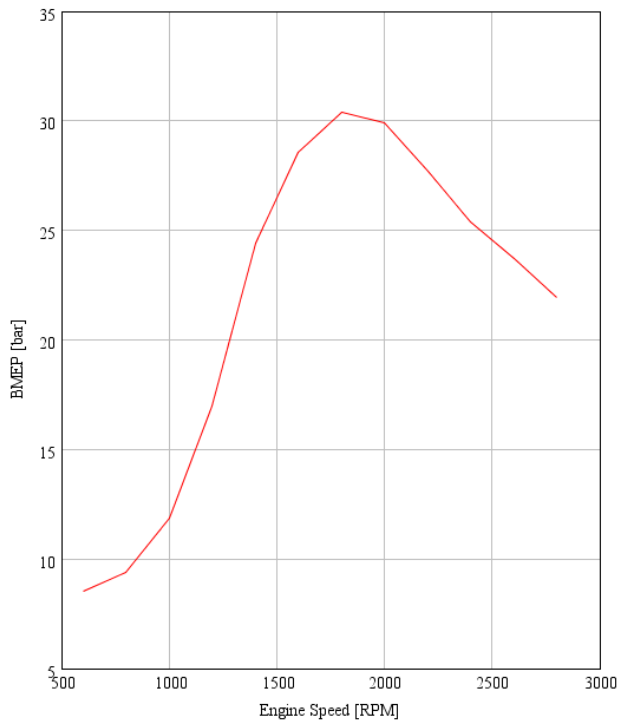
##### ➤ Engine Performance

Engine Performance berupa Brake Mean Effective Pressure (BMEP), Brake Power, dan Brake Torque.

*Default Brake Mean Effective Pressure (BMEP)* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.

Brake Mean Effective Pressure  
 EngineCrankTrain part Engine

<b>BMEP [bar]</b>	<b>@ RPM</b>
30.3848	1800.0



**Gambar 4.18** Grafik *Default BMEP*

Adapun data terperinci dari Grafik *Default BMEP* berupa tabel.

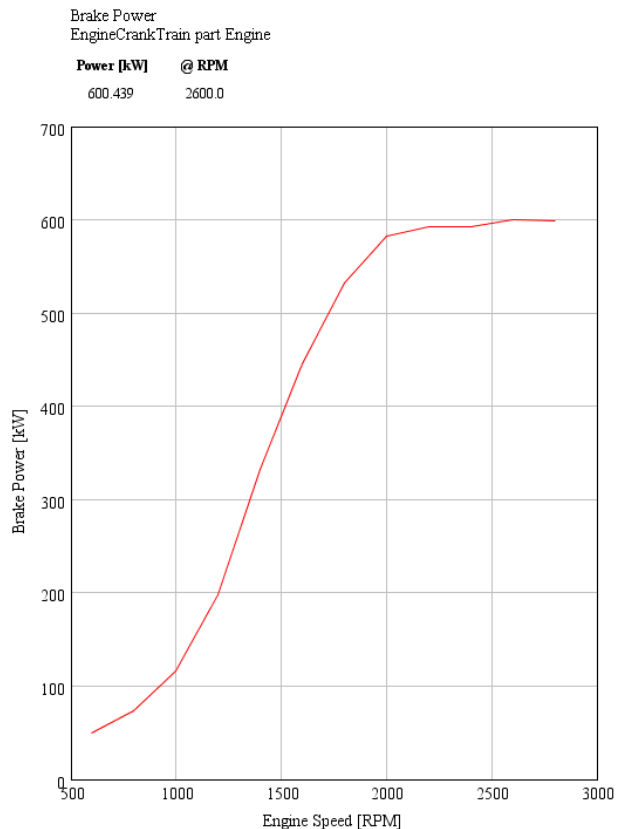
**Tabel 4.2** Tabel Data *Default BMEP*

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
2800	21.956
2600	23.730
2400	25.377
2200	27.699
2000	29.906
1800	30.385
1600	28.579
1400	24.395
1200	16.999
1000	11.889

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
800	9.387
600	8.550

Dalam grafik dan tabel tersebut ditunjukkan bahwa BMEP tertinggi adalah pada putaran mesin 1800 rpm dengan nilai 30.38 bar dan BMEP mengalami penurunan setelah putaran 1800 rpm.

*Default Brake Power* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



**Gambar 4.19** Grafik *Default Brake Power*

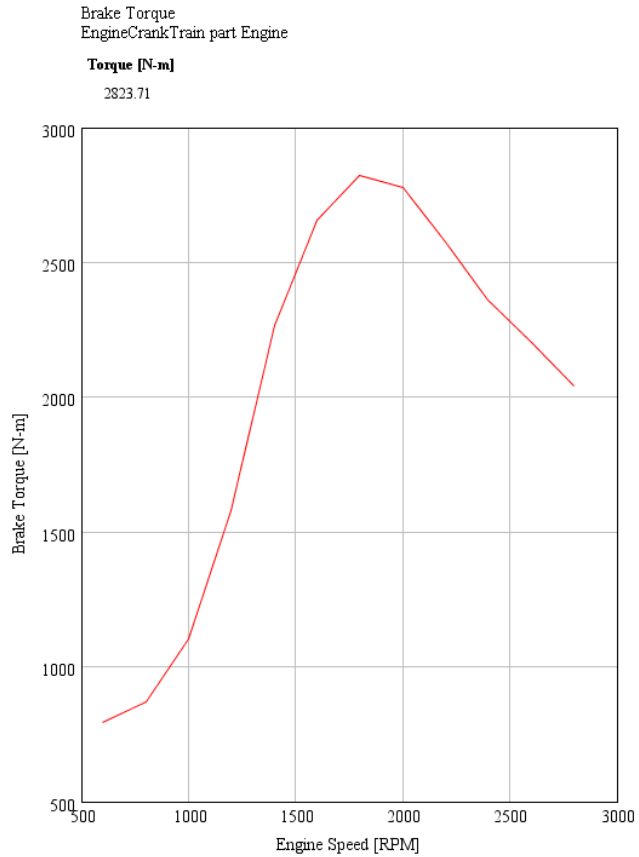
Adapun data terperinci dari Grafik *Default Brake Power* berupa tabel.

**Tabel 4.3** Tabel Data *Default Brake Power*

<b>Engine Speed</b>	<b>Brake Power</b>
RPM	kW
2800	598.267
2600	600.439
2400	592.703
2200	593.039
2000	582.076
1800	532.257
1600	444.992
1400	332.371
1200	198.515
1000	115.697
800	73.083
600	49.925

Dalam grafik dan tabel tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Power* tertinggi adalah pada putaran mesin 2600 rpm dengan nilai 600.44 kW dan *Brake Power* mengalami penurunan setelah putaran 2600 rpm.

*Default Brake Torque* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



**Gambar 4.20** Grafik *Default Brake Torque*

Adapun data terperinci dari Grafik *Default Brake Torque* berupa tabel.

**Tabel 4.4** Tabel Data *Default Brake Torque*

Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
2800	2040.370
2600	2205.300
2400	2358.290
2200	2574.140
2000	2779.210
1800	2823.710
1600	2655.850
1400	2267.080
1200	1579.730

Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
1000	1104.830
800	872.363
600	794.587

Dalam Grafik dan table tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Torque* tertinggi pada putaran mesin 1800 rpm dengan nilai 2823,71 Nm.

➤ **Konsumsi Bahan Bakar**

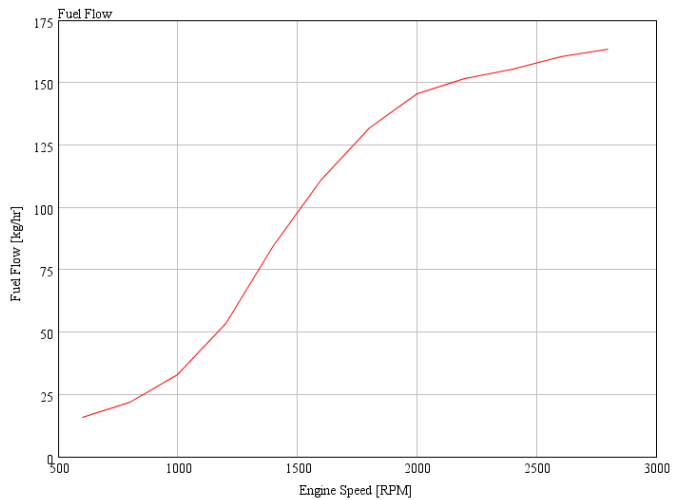
Konsumsi bahan bakar pada kondisi mesin *default* dapat dilihat melalui tabel dan grafik dibawah ini. Data konsumsi bahan bakar di dapat dari tab “*CaseRLT*” program GT-POST.

**Tabel 4.5** Tabel Data *Default Fuel Flow*

Engine Speed	Fuel Flow
RPM	kg/hr
2800	163.333
2600	160.397
2400	155.558
2200	151.755
2000	145.680
1800	132.002
1600	110.783
1400	84.544
1200	53.352
1000	32.933
800	21.814
600	15.733

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.





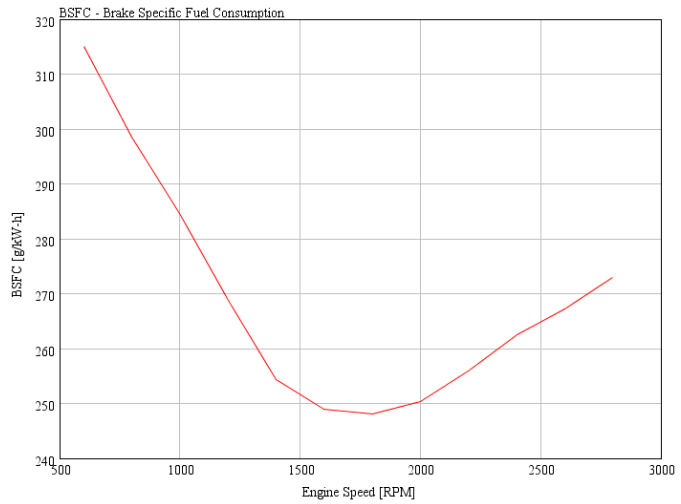
**Gambar 4.21** Grafik *Default Fuel Flow*

Didapatkan juga data dari *Brake Specific Fuel Oil Consumption (BSFC)* sebagai berikut.

**Tabel 4.6** Tabel Data *Default BSFC*

Engine Speed	SOFC
RPM	g/kWh
2800	273.009
2600	267.133
2400	262.455
2200	255.894
2000	250.277
1800	248.005
1600	248.956
1400	254.366
1200	268.754
1000	284.647
800	298.488
600	315.120

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.

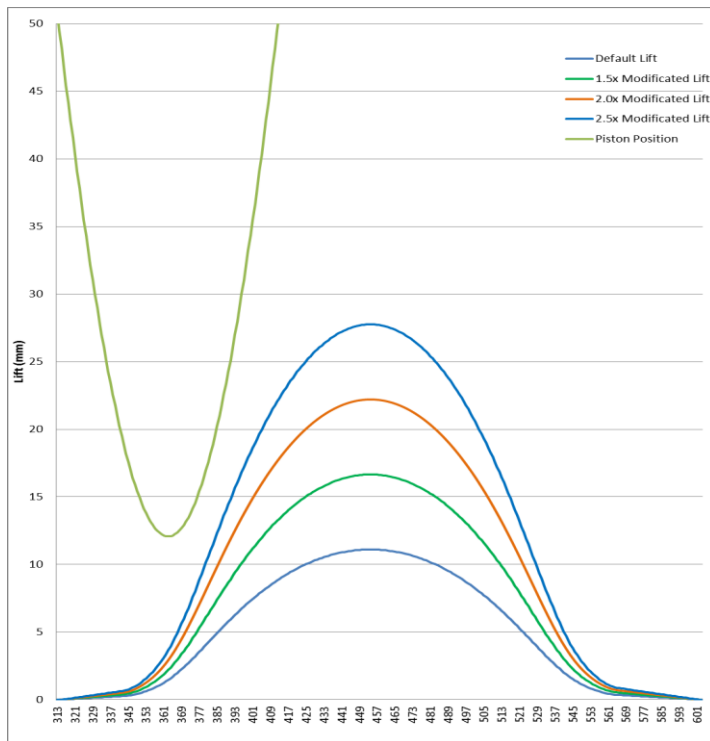


**Gambar 4.22** Grafik *Default BSFC*

## 4.3 Modifikasi Valve Lift

### 4.3.1 Penggambaran Bentuk Lift Array Modifikasi

Seperti yang telah diketahui diatas bahwa *maximum default intake valve lift* adalah 11,1 mm. Maka pada penelitian ini *intake valve lift* dimodifikasi 1,5; 2,0; dan 2,5 kali lipat. Modifikasi ini dibuat sedemikian rupa agar bukaan katup intake tidak bertabrakan dengan gerakan piston. Grafik dibawah ini menunjukkan *default lift*, *1,5x modified lift*, *2,0x modified lift*, *2,5x modified lift*, dan posisi piston.



Gambar 4.23 Variable Valve Lift

Data lengkap *Modified Lift Array* terdapat pada tabel dibawah ini.

**Tabel 4.7** *Tabel Modified Lift Array*

<b>Crank Angle</b>	<b>1.5x Modified Lift Array</b>	<b>2.0x Modified Lift Array</b>	<b>2.5x Modified Lift Array</b>
degree	mm	mm	mm
315	0.003591	0.004572	0.005866
320	0.064008	0.085344	0.106680
325	0.135445	0.180594	0.225742
330	0.206883	0.275844	0.344805
335	0.278321	0.371094	0.463868
340	0.349758	0.466344	0.582930
345	0.447385	0.595351	0.745660
350	0.706863	0.940775	1.178022
355	1.131434	1.507693	1.885757
360	1.729106	2.303910	2.881237
365	2.552968	3.402432	4.254981
370	3.588943	4.785258	5.981572
375	4.797385	6.395975	7.995645
380	6.088284	8.117503	10.147166
385	7.393992	9.858758	12.323105
390	8.661881	11.549407	14.435607
395	9.858513	13.145005	16.430838
400	10.967355	14.625056	18.280658
405	11.978670	15.972028	19.964829
410	12.890551	17.188593	21.484264
415	13.702508	18.270218	22.836810
420	14.414421	19.220083	24.023944
425	15.026683	20.036280	25.045046
430	15.541551	20.722984	25.901917
435	15.957879	21.277579	26.596472
440	16.276514	21.703396	27.127953
445	16.499391	21.999192	27.498095
450	16.624168	22.166904	27.707827
455	16.653810	22.205187	27.755569
460	16.586419	22.116146	27.644057
465	16.422012	21.896577	27.370024
470	16.161779	21.549945	26.936229
475	15.803614	21.072092	26.339387
480	15.348620	20.466403	25.581037
485	14.795978	19.728179	24.659982
490	14.146529	18.862040	23.577547
495	13.392997	17.857977	22.321562
500	12.542947	16.725592	20.904794
505	11.591599	15.456404	19.319834
510	10.544073	14.059699	17.573982

<b>Crank Angle</b>	<b>1.5x Modified Lift Array</b>	<b>2.0x Modified Lift Array</b>	<b>2.5x Modified Lift Array</b>
degree	mm	mm	mm
515	9.403158	12.537702	15.671532
520	8.181880	10.909395	13.636058
525	6.904640	9.206227	11.507654
530	5.610899	7.480874	9.351915
535	4.363295	5.817357	7.272654
540	3.233078	4.309963	5.389651
545	2.292638	3.056716	3.821255
550	1.576121	2.100557	2.628254
555	1.063718	1.418030	1.773245
560	0.707862	0.943716	1.180806
565	0.525689	0.700507	0.875831
570	0.450342	0.600456	0.750570
575	0.378905	0.505206	0.631507
580	0.307467	0.409956	0.512445
585	0.236030	0.314706	0.393383
590	0.164592	0.219456	0.274320
595	0.093154	0.124206	0.155258
600	0.022146	0.029294	0.037081

#### 4.3.2 Hasil Simulasi *1.5x Modified Valve Lift*

Beberapa hasil yang dapat setelah melakukan simulasi *1.5x modified valve lift* adalah

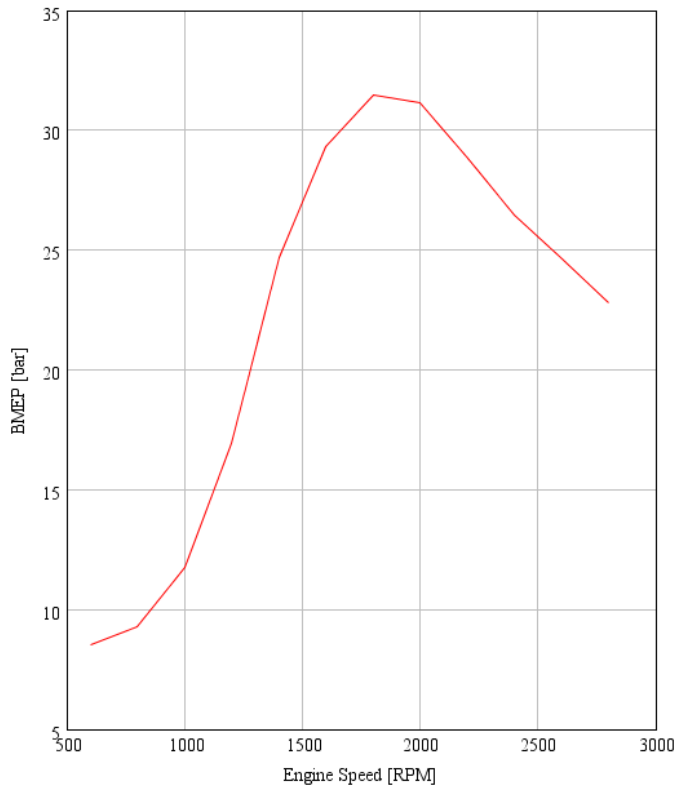
##### ➤ Engine Performance

Engine Performance berupa Brake Mean Effective Pressure (BMEP), Brake Power, dan Brake Torque.

*1.5x Modified Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.

Brake Mean Effective Pressure  
EngineCrankTrain part Engine

**BMEP [bar] @ RPM**  
31.4651 1800.0



**Gambar 4.24** Grafik *1.5x Modified BMEP*

Tabel data terperinci dari Grafik *1.5x Modified BMEP*.

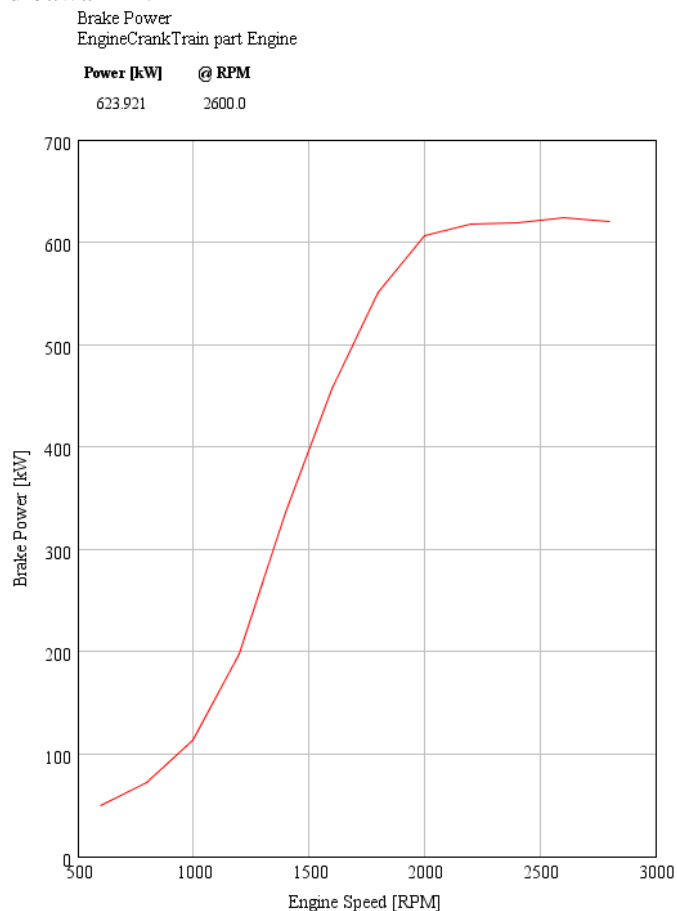
**Tabel 4.8** Tabel Data *1.5x Modified BMEP*

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
2800	22.78
2600	24.66
2400	26.48
2200	28.84
2000	31.16
1800	31.47
1600	29.30
1400	24.68

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
1200	16.94
1000	11.75
800	9.27
600	8.52

Dalam grafik dan table tersebut ditunjukkan bahwa BMEP tertinggi adalah pada putaran mesin 2000 rpm dengan nilai 31.41 bar dan BMEP mengalami penurunan setelah putaran 2000 rpm.

*1.5x Modified Brake Power* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



**Gambar 4.25** Grafik *1.5x Modified Brake Power*

Adapun data terperinci dari Grafik *1.5x Modified Brake Power* berupa tabel.

**Tabel 4.9** Tabel Data *1.5x Modified Brake Power*

Engine Speed	Brake Power
RPM	kW
2800	620.81
2600	623.92
2400	618.38
2200	617.51
2000	606.52
1800	551.18
1600	456.22
1400	336.27
1200	197.85
1000	114.30
800	72.20
600	49.76

Dalam grafik dan tabel tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Power* tertinggi adalah pada putaran mesin 2600 rpm dengan nilai 632.41 kW dan *Brake Power* mengalami penurunan setelah putaran 2600 rpm.

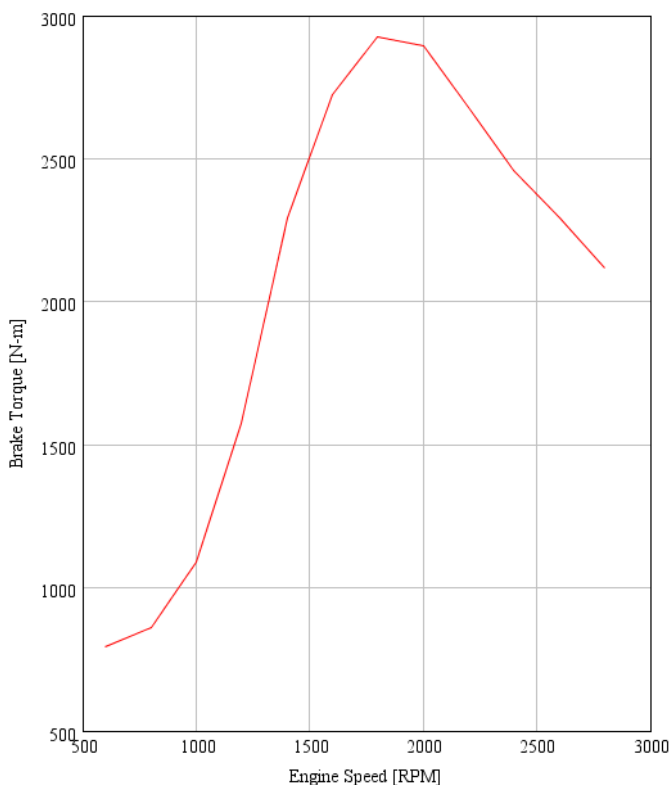
*1.5x Modified Brake Torque* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



Brake Torque  
EngineCrankTrain part Engine

**Torque [N-m]**

2924.1



**Gambar 4.26** Grafik *1.5x Modified Brake Torque*

Adapun data terperinci dari Grafik *1.5x Modified Brake Torque* berupa tabel.

**Gambar 4.10** Tabel Data *1.5x Modified Brake Torque*

Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
2800	2117.25
2600	2291.54
2400	2460.43
2200	2680.35
2000	2895.92
1800	2924.10
1600	2722.84
1400	2293.69

Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
1200	1574.46
1000	1091.53
800	861.85
600	792.01

Dalam Grafik dan table tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Torque* tertinggi pada putaran mesin 2000 rpm dengan nilai 2919.13Nm.

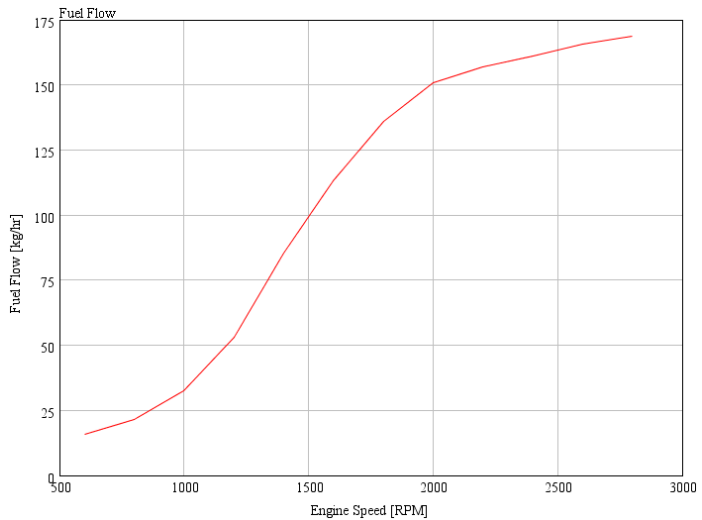
➤ **Konsumsi Bahan Bakar**

Konsumsi bahan bakar pada kondisi mesin *modified* dapat dilihat melalui tabel dan grafik dibawah ini. Data konsumsi bahan bakar di dapat dari tab “*CaseRLT*” program GT-POST.

**Gambar 4.11** Tabel Data *1.5x Modified Fuel Flow*

Engine Speed	Fuel Flow
RPM	kg/hr
2800	168.62
2600	165.72
2400	161.26
2200	157.07
2000	150.84
1800	135.88
1600	113.00
1400	85.38
1200	53.24
1000	32.61
800	21.61
600	15.76

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.



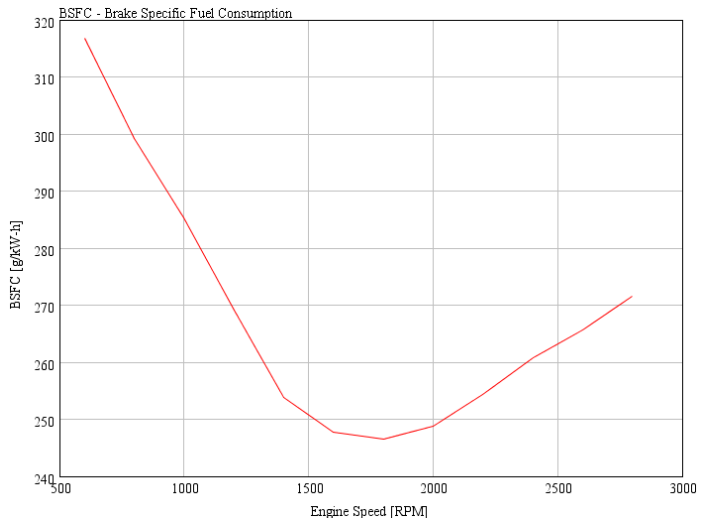
**Gambar 4.27** Grafik *1.5x Modified Fuel Flow*

Didapatkan juga data dari *Brake Specific Fuel Oil Consumption (BSFC)* sebagai berikut.

**Tabel 4.12** Tabel Data *1.5x Modified BSFC*

Engine Speed RPM	SOFC g/kWh
2800	271.62
2600	265.61
2400	260.78
2200	254.36
2000	248.70
1800	246.53
1600	247.69
1400	253.90
1200	269.10
1000	285.31
800	299.26
600	316.77

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.



**Gambar 4.28** Grafik *1.5x Modified BSFC*

#### 4.3.3 Hasil Simulasi *2.0x Modified Valve Lift*

Beberapa hasil yang dapat setelah melakukan simulasi *2.0x modified valve lift* adalah

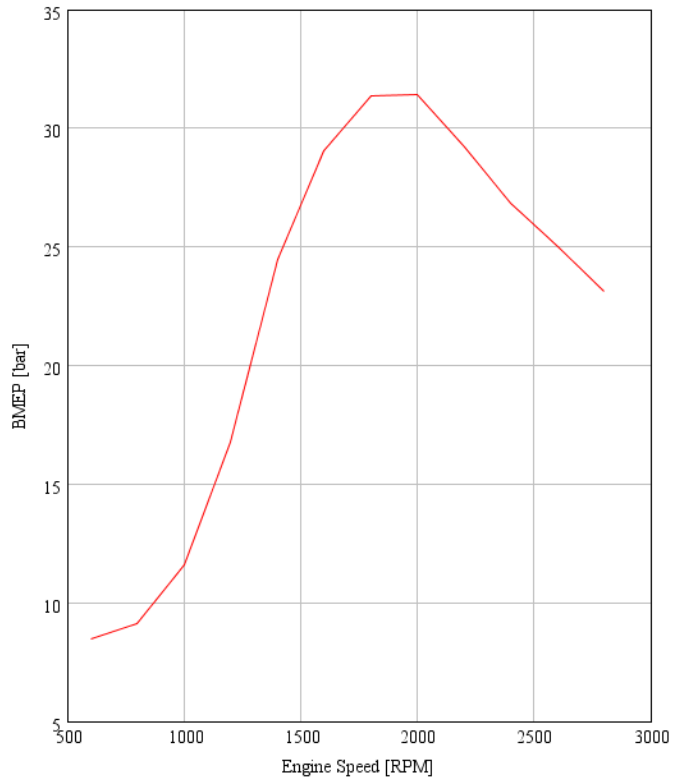
➤ Engine Performance

Engine Performance berupa Brake Mean Effective Pressure (BMEP), Brake Power, dan Brake Torque.

*2.0x Modified Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.

Brake Mean Effective Pressure  
EngineCrankTrain part Engine

**BMEP [bar]**      **@ RPM**  
31.4117              2000.0



**Gambar 4.29** Grafik 2.0x Modified BMEP

Tabel data terperinci dari Grafik 2.0x Modified BMEP.

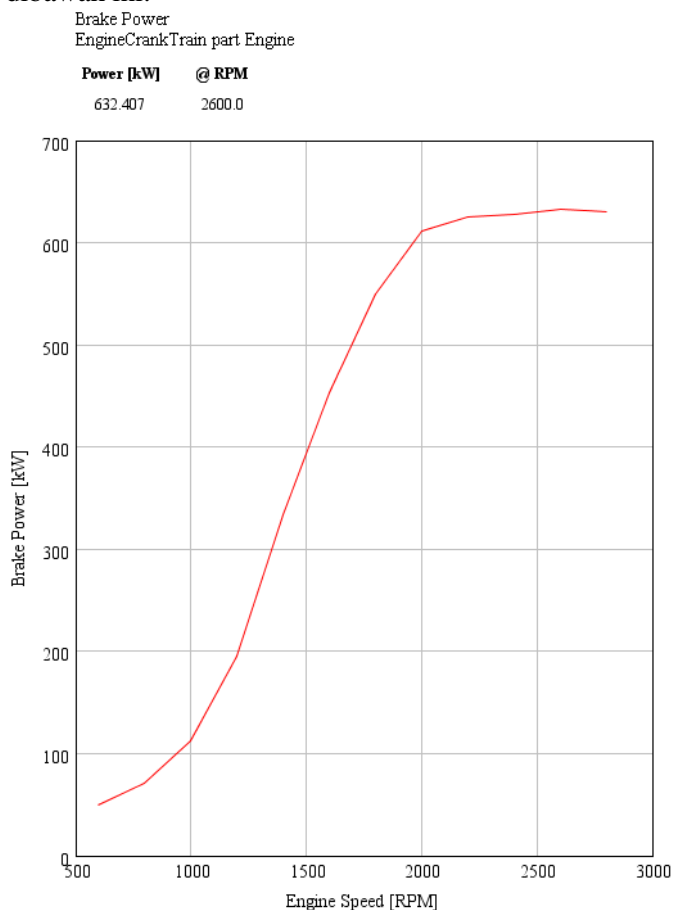
**Tabel 4.13** Tabel Data 2.0x Modified BMEP

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
2800	23.11
2600	24.99
2400	26.87
2200	29.19
2000	31.41
1800	31.36
1600	29.07
1400	24.48

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
1200	16.78
1000	11.60
800	9.14
600	8.47

Dalam grafik dan table tersebut ditunjukkan bahwa BMEP tertinggi adalah pada putaran mesin 2000 rpm dengan nilai 31.41 bar dan BMEP mengalami penurunan setelah putaran 2000 rpm.

*2.0x Modified Brake Power* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



**Gambar 4.30** Grafik *2.0x Modified Brake Power*

Adapun data terperinci dari Grafik *2.0x Modified Brake Power* berupa tabel.

**Tabel 4.14** Tabel Data *2.0x Modified Brake Power*

<b>Engine Speed</b>	<b>Brake Power</b>
RPM	kW
2800	629.75
2600	632.41
2400	627.50
2200	624.98
2000	611.38
1800	549.38
1600	452.61
1400	333.51
1200	195.99
1000	112.94
800	71.18
600	49.43

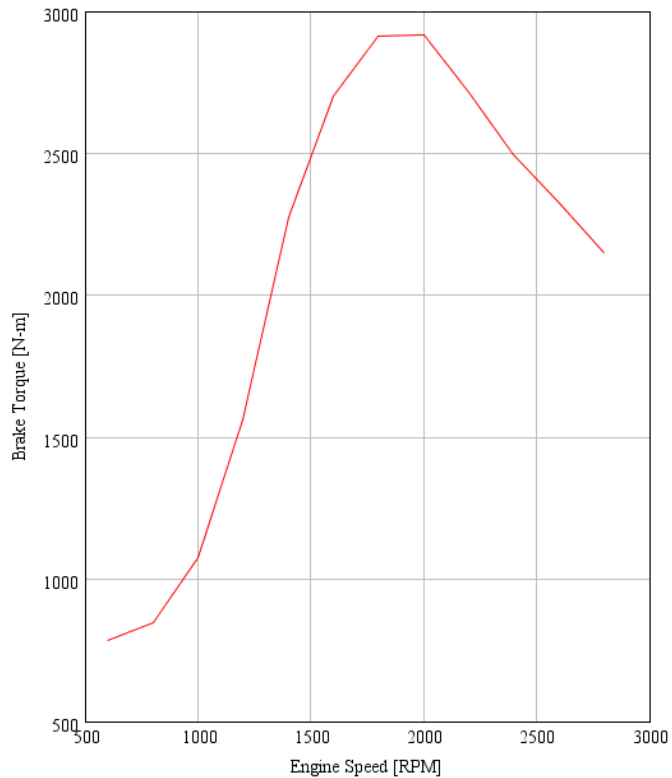
Dalam grafik dan tabel tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Power* tertinggi adalah pada putaran mesin 2600 rpm dengan nilai 632.41 kW dan *Brake Power* mengalami penurunan setelah putaran 2600 rpm.

*2.0x Modified Brake Torque* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.

Brake Torque  
EngineCrankTrain part Engine

**Torque [N.m]**

2919.13



**Gambar 4.31** Grafik 2.0x Modified Brake Torque

Adapun data terperinci dari Grafik 2.0x Modified Brake Torque berupa tabel.

**Gambar 4.15** Tabel Data 2.0x Modified Brake Torque

Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
2800	2147.73
2600	2322.71
2400	2496.74
2200	2712.79
2000	2919.13
1800	2914.53
1600	2701.32
1400	2274.85



Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
1200	1559.65
1000	1078.46
800	849.63
600	786.72

Dalam Grafik dan table tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Torque* tertinggi pada putaran mesin 2000 rpm dengan nilai 2919.13Nm.

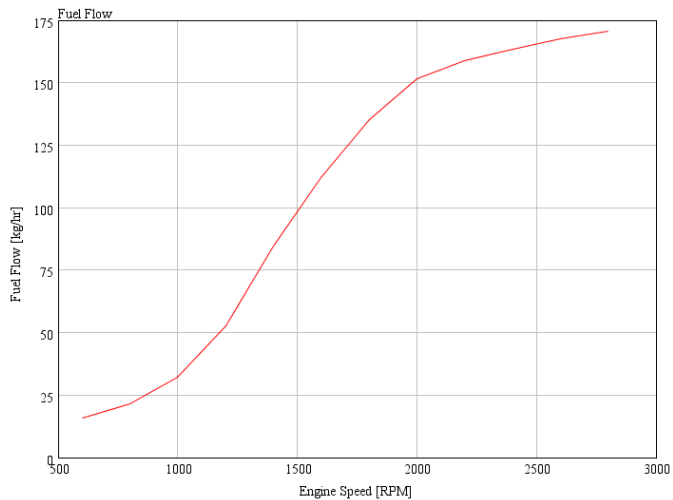
➤ **Konsumsi Bahan Bakar**

Konsumsi bahan bakar pada kondisi mesin *2.0x modified* dapat dilihat melalui tabel dan grafik dibawah ini. Data konsumsi bahan bakar di dapat dari tab “*CaseRLT*” program GT-POST.

**Gambar 4.16** Tabel Data *2.0x Modified Fuel Flow*

Engine Speed	Fuel Flow
RPM	kg/hr
2800	170.79
2600	167.75
2400	163.30
2200	158.65
2000	151.77
1800	135.28
1600	112.03
1400	84.68
1200	52.79
1000	32.23
800	21.33
600	15.70

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.



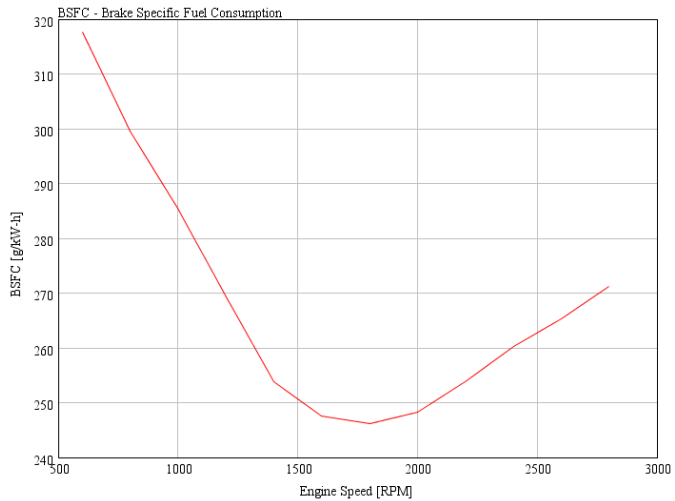
**Gambar 4.32** Grafik 2.0x Modified Fuel Flow

Didapatkan juga data dari *Brake Specific Fuel Oil Consumption (BSFC)* sebagai berikut.

**Tabel 4.17** Tabel Data 2.0x Modified BSFC

Engine Speed RPM	SOFC g/kWh
2800	271.20
2600	265.25
2400	260.24
2200	253.85
2000	248.25
1800	246.25
1600	247.51
1400	253.90
1200	269.37
1000	285.39
800	299.61
600	317.70

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.



**Gambar 4.33** Grafik *2.0x Modified BSFC*

#### 4.3.4 Hasil Simulasi *2.5x Modified Valve Lift*

Beberapa hasil yang dapat setelah melakukan simulasi *2.5x modified valve lift* adalah

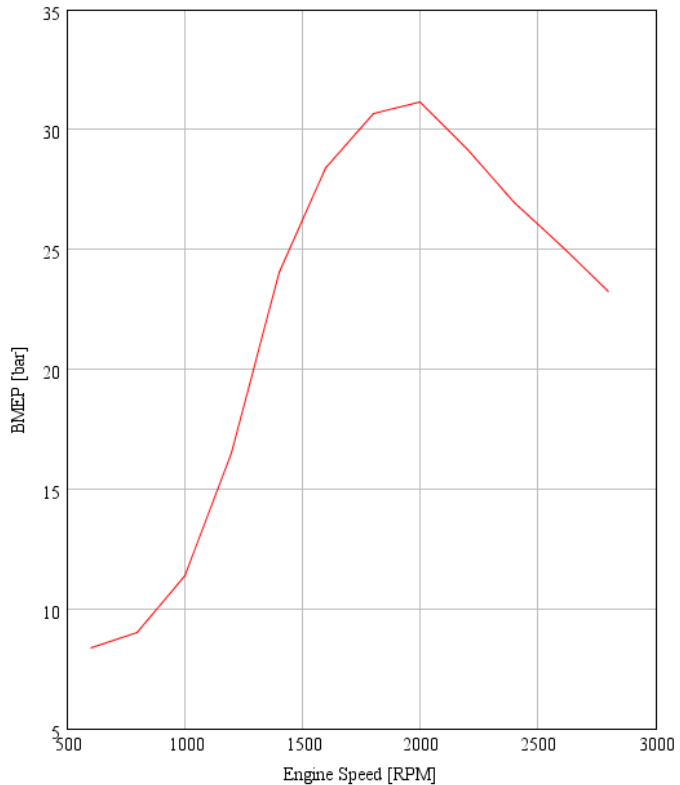
➤ Engine Performance

Engine Performance berupa Brake Mean Effective Pressure (BMEP), Brake Power, dan Brake Torque.

*2.5x Modified Brake Mean Effective Pressure* (BMEP) ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.

Brake Mean Effective Pressure  
EngineCrankTrain part Engine

**BMEP [bar] @ RPM**  
31.164 2000.0



**Gambar 4.34** Grafik 2.5x Modified BMEP

Tabel data terperinci dari Grafik 2.5x Modified BMEP.

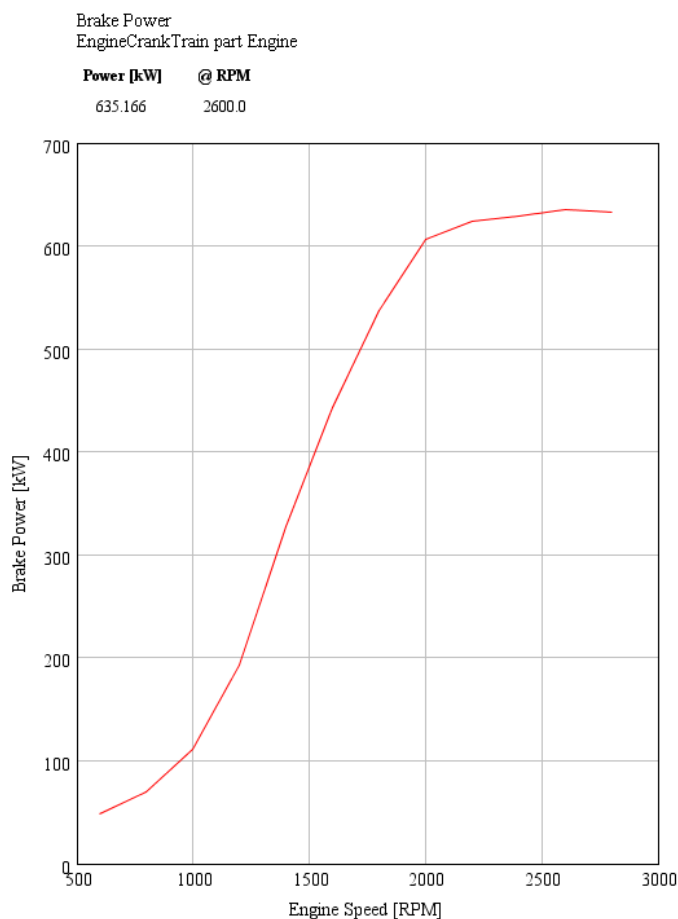
**Tabel 4.18** Tabel Data 2.5x Modified BMEP

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
2800	23.24
2600	25.10
2400	26.93
2200	29.16
2000	31.16
1800	30.67
1600	28.41
1400	24.02

Engine Speed	BMEP
RPM	bar
1200	16.50
1000	11.37
800	8.99
600	8.38

Dalam grafik dan table tersebut ditunjukkan bahwa BMEP tertinggi adalah pada putaran mesin 2000 rpm dengan nilai 31.41 bar dan BMEP mengalami penurunan setelah putaran 2000 rpm.

*2.5x Modified Brake Power* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.



**Gambar 4.35** Grafik *2.5x Modified Brake Power*

Adapun data terperinci dari Grafik *2.5x Modified Brake Power* berupa tabel.

**Tabel 4.19** Tabel Data *2.5x Modified Brake Power*

Engine Speed	Brake Power
RPM	kW
2800	633.34
2600	635.17
2400	629.00
2200	624.36
2000	606.56
1800	537.25
1600	442.42
1400	327.31
1200	192.65
1000	110.64
800	69.99
600	48.92

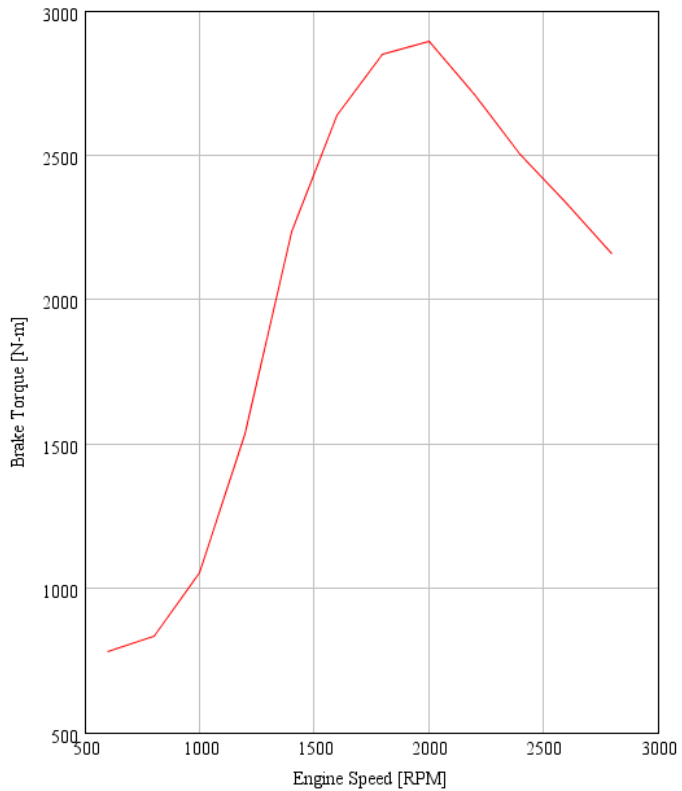
Dalam grafik dan tabel tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Power* tertinggi adalah pada putaran mesin 2600 rpm dengan nilai 632.41 kW dan *Brake Power* mengalami penurunan setelah putaran 2600 rpm.

*2.5x Modified Brake Torque* ditunjukkan oleh grafik dibawah ini.

Brake Torque  
EngineCrankTrain part Engine

**Torque [N-m]**

2896.12



**Gambar 4.36** Grafik *2.5x Modified Brake Torque*

Adapun data terperinci dari Grafik *2.5x Modified Brake Torque* berupa tabel.

**Gambar 4.20** Tabel Data *2.5x Modified Brake Torque*

Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
2800	2159.98
2600	2332.84
2400	2502.69
2200	2710.09
2000	2896.12
1800	2850.20
1600	2640.48
1400	2232.55

Engine Speed	Brake Torque
RPM	Nm
1200	1533.07
1000	1056.53
800	835.41
600	778.64

Dalam Grafik dan table tersebut ditunjukkan bahwa *Brake Torque* tertinggi pada putaran mesin 2000 rpm dengan nilai 2919.13 Nm.

➤ **Konsumsi Bahan Bakar**

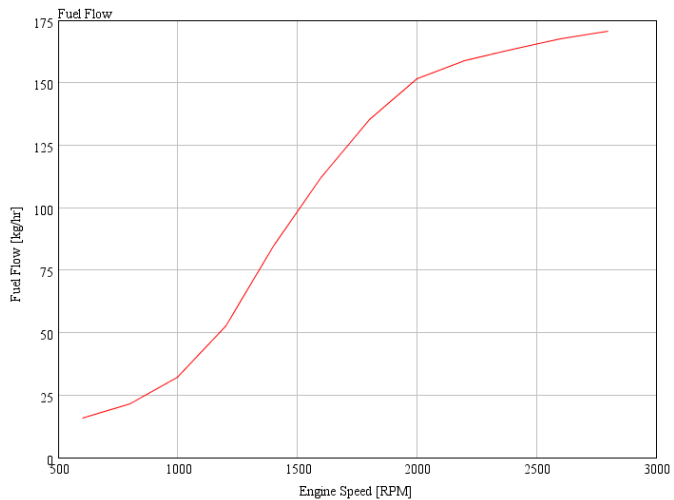
Konsumsi bahan bakar pada kondisi mesin *modified* dapat dilihat melalui tabel dan grafik dibawah ini. Data konsumsi bahan bakar di dapat dari tab “*CaseRLT*” program GT-POST.

**Gambar 4.21** Tabel Data *2.5x Modified Fuel Flow*

Engine Speed	Fuel Flow
RPM	kg/hr
2800	171.74
2600	168.46
2400	163.66
2200	158.48
2000	150.66
1800	132.52
1600	109.66
1400	83.22
1200	51.97
1000	31.62
800	20.38
600	15.59

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.





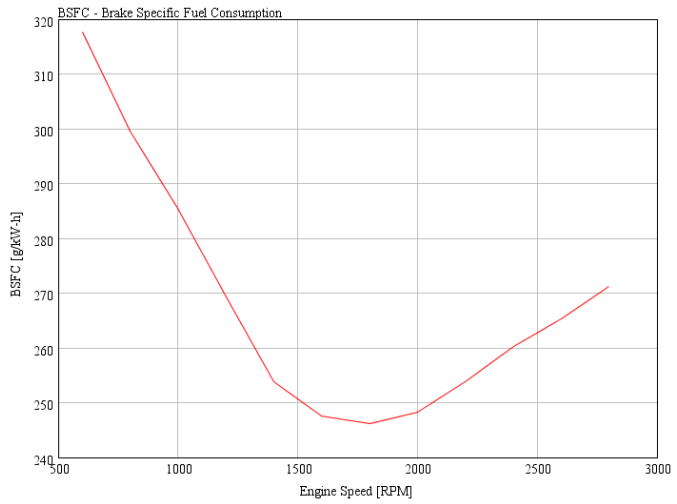
**Gambar 4.37** Grafik 2.5x Modified Fuel Flow

Didapatkan juga data dari *Brake Specific Fuel Oil Consumption (BSFC)* sebagai berikut.

**Tabel 4.22** Tabel Data 2.5x Modified BSFC

Engine Speed RPM	SOFC g/kWh
2800	271.17
2600	265.22
2400	260.19
2200	253.83
2000	248.38
1800	246.67
1600	247.87
1400	254.25
1200	269.75
1000	285.81
800	299.97
600	318.66

Data tersebut diplotkan kedalam tabel sehingga mendapatkan hasil sebagai berikut.



**Gambar 4.38** Grafik 2.5x Modified BSFC

## 4.4 Pembahasan

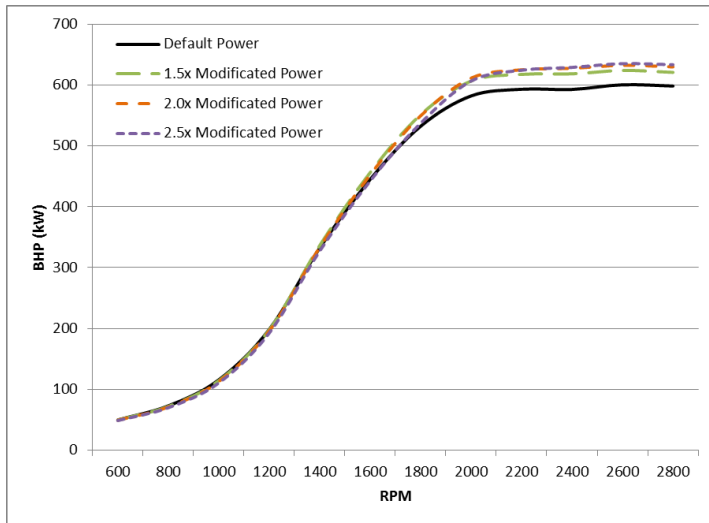
Pada sub-bab ini akan dibahas tentang perbandingan dan penggabungan 2 mode yang telah dikerjakan. 2 mode tersebut adalah *default* dan *modified*. Pengerjaan ini bertujuan untuk mengetahui bukaan katup yang tepat diantara 1,5x; 2,0x; dan 2,5x dari nilai bukaan standar dan untuk mengetahui putaran yang tepat untuk mengaktifkan mode *modified*.

### 4.4.1 Perbandingan Daya Keluaran

Perbandingan daya antara mode *default* dan *modified* dilakukan supaya mengetahui daya terbaik tiap putaran mesin dari beberapa mode tersebut. Dalam tabel dibawah ini disajikan perbandingan daya dari beberapa mode tersebut.

**Tabel 4.23** Tabel Data Perbandingan Daya

Engine Speed	BHP (Default)	BHP (1.5x Mod)	BHP (2.0x Mod)	BHP (2.5x Mod)
RPM	kW	kW	kW	kW
2800	598.27	620.81	629.75	633.34
2600	600.44	623.92	632.41	635.17
2400	592.70	618.38	627.50	629.00
2200	593.04	617.51	624.98	624.36
2000	582.08	606.52	611.38	606.56
1800	532.26	551.18	549.38	537.25
1600	444.99	456.22	452.61	442.42
1400	332.37	336.27	333.51	327.31
1200	198.52	197.85	195.99	192.65
1000	115.70	114.30	112.94	110.64
800	73.08	72.20	71.18	69.99
600	49.93	49.76	49.43	48.92



**Gambar 4.39** Grafik Perbandingan Daya

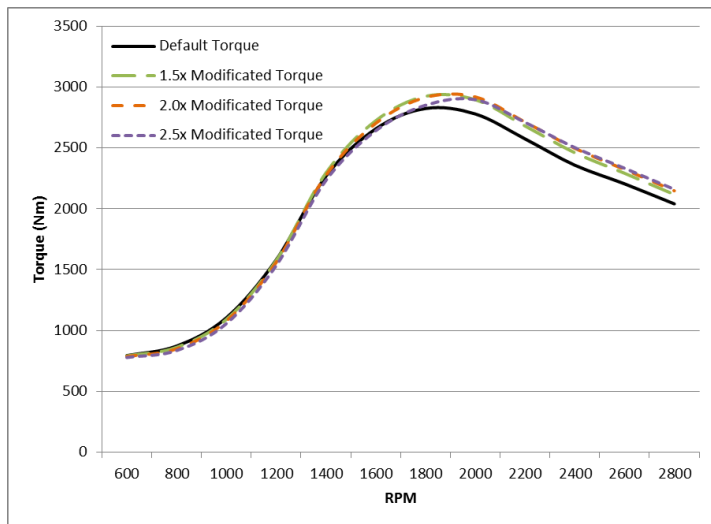
Dari perbandingan tabel dan grafik daya keluaran diatas terlihat bahwa daya yang dihasilkan oleh semua mode *modified* lebih besar daripada daya yang dihasilkan oleh mode *default* pada putaran mesin yang tinggi. Pada putaran mesin tinggi, selisih daya antara mode *default* dengan mode *1.5x modified* berbeda cukup jauh, namun selisih daya antara *1.5x modified* dengan *2.0x modified* memiliki nilai yang kecil yang disusul dengan selisih daya antara *2.0 modified* dengan *2.5x modified* yang memiliki nilai yang lebih kecil. Pada putaran mesin rendah mode *default* memiliki daya yang sedikit lebih besar daripada mode *modified* manapun.

#### 4.4.2 Perbandingan Torsi

Perbandingan torsi antara mode *default* dan *modified* dilakukan supaya mengetahui torsi terbaik pada tiap putaran mesin dari beberapa mode tersebut. Dalam tabel dibawah ini disajikan perbandingan torsi dari beberapa mode tersebut.

**Tabel 4.24** Tabel Data Perbandingan Torsi

Engine Speed	Torque (Default)	Torque (1.5x Mod)	Torque (2.0x Mod)	Torque (2.5x Mod)
RPM	Nm	Nm	Nm	Nm
2800	2040.37	2117.25	2147.73	2159.98
2600	2205.30	2291.54	2322.71	2332.84
2400	2358.29	2460.43	2496.74	2502.69
2200	2574.14	2680.35	2712.79	2710.09
2000	2779.21	2895.92	2919.13	2896.12
1800	2823.71	2924.10	2914.53	2850.20
1600	2655.85	2722.84	2701.32	2640.48
1400	2267.08	2293.69	2274.85	2232.55
1200	1579.73	1574.46	1559.65	1533.07
1000	1104.83	1091.53	1078.46	1056.53
800	872.36	861.85	849.63	835.41
600	794.59	792.01	786.72	778.64



**Gambar 4.40** Grafik Perbandingan Torsi

Dari perbandingan tabel dan grafik torsi diatas terlihat bahwa torsi yang dihasilkan oleh semua mode *modified* lebih besar daripada torsi yang dihasilkan oleh mode *default* pada putaran mesin yang tinggi. Pada putaran mesin tinggi, selisih torsi antara mode *default* dengan mode *1.5x modified* berbeda cukup jauh, namun selisih torsi antara *1.5x modified* dengan *2.0x modified* memiliki nilai yang kecil yang disusul dengan selisih torsi antara *2.0*

*modified* dengan *2.5x modified* yang memiliki nilai yang lebih kecil. Namun pada putaran 1600 dan 1800 nilai torsi dari mode *2.5x modified* mengalami penurunan. Pada putaran mesin rendah mode *default* memiliki torsi yang sedikit lebih besar daripada mode *modified* manapun. Nilai torsi ini berbanding lurus dengan nilai BMEP.

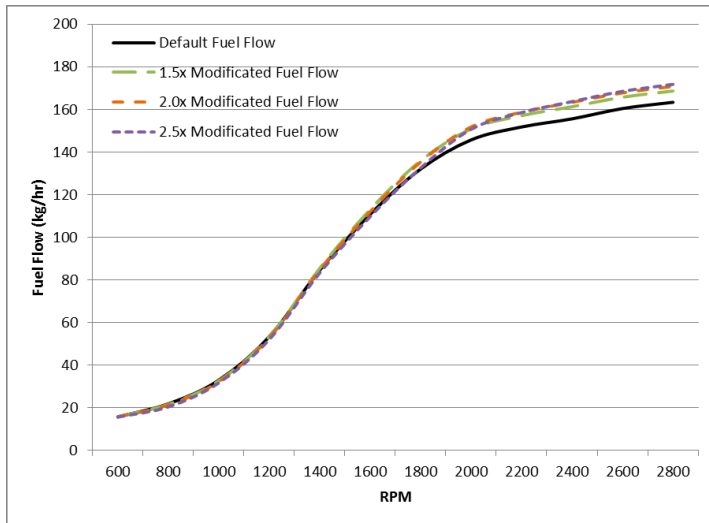
#### 4.4.3 Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar

Perbandingan konsumsi bahan bakar antara mode *default* dan *modified* dilakukan supaya mendapatkan mode yang paling hemat dari beberapa mode tersebut.

Tabel dan grafik dibawah ini menyajikan perbandingan *fuel flow* dari beberapa mode tersebut.

**Tabel 4.25** Tabel Data Perbandingan *Fuel Flow*

Engine Speed	Fuel Flow (Default)	Fuel Flow (1.5x Mod)	Fuel Flow (2.0x Mod)	Fuel Flow (2.5x Mod)
RPM	kg/hr	kg/hr	kg/hr	kg/hr
2800	163.33	168.62	170.79	171.74
2600	160.40	165.72	167.75	168.46
2400	155.56	161.26	163.30	163.66
2200	151.76	157.07	158.65	158.48
2000	145.68	150.84	151.77	150.66
1800	132.00	135.88	135.28	132.52
1600	110.78	113.00	112.03	109.66
1400	84.54	85.38	84.68	83.22
1200	53.35	53.24	52.79	51.97
1000	32.93	32.61	32.23	31.62
800	21.81	21.61	21.33	20.38
600	15.73	15.76	15.70	15.59

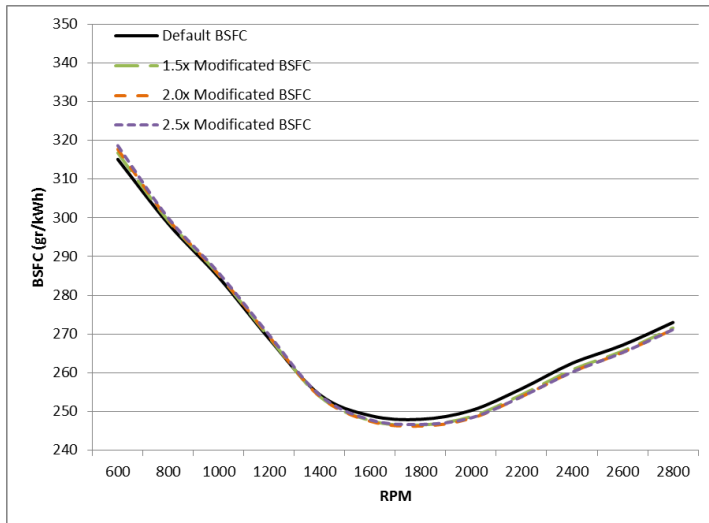


**Gambar 4.41** Grafik Perbandingan *Fuel Flow*

Tabel dan grafik dibawah ini juga menyajikan perbandingan hasil konsumsi bahan bakar yang berupa *Brake Specific Fuel Oil Consumption (BSFC)*.

**Tabel 4.26** Tabel Data Perbandingan *BSFC*

Engine Speed	BSFC (Default)	BSFC (1.5x Mod)	BSFC (2.0x Mod)	BSFC (2.5x Mod)
RPM	g/kWh	g/kWh	g/kWh	g/kWh
2800	273.01	271.62	271.20	271.17
2600	267.13	265.61	265.25	265.22
2400	262.46	260.78	260.24	260.19
2200	255.89	254.36	253.85	253.83
2000	250.28	248.70	248.25	248.38
1800	248.01	246.53	246.25	246.67
1600	248.96	247.69	247.51	247.87
1400	254.37	253.90	253.90	254.25
1200	268.75	269.10	269.37	269.75
1000	284.65	285.31	285.39	285.81
800	298.49	299.26	299.61	299.97
600	315.12	316.77	317.70	318.66



**Gambar 4.42** Grafik Perbandingan BSFC

Pada putaran mesin rendah, nilai BSFC terbaik dimiliki oleh mode *default*. Namun dalam putaran sedang nilai tersebut berpotongan dan pada putaran tinggi nilai BSFC pada mode *modified* lebih menguntungkan.

#### 4.4.4 Data Penguat

Untuk memperkuat data hasil perbandingan 2 mode diatas, GT-POWER juga mendetailkan data *Volumetric Efficiency*, *Temperature*, *Heat Release Rate*, *Mass Air Flow*, dan *Pressure-Volume Diagram*. Data-data perbandingan diambil dari data salah satu silinder mesin dan dari 3 putaran mesin yang berbeda, yaitu putaran rendah pada 800 RPM, putaran yang paling dekat dengan perpotongan mode pada 1400 RPM, dan putaran dengan selisih kenaikan daya paling besar pada 2600 RPM. Berikut adalah beberapa hasil perbandingan yang diperoleh :

##### ➤ *Volumetric Efficiency*

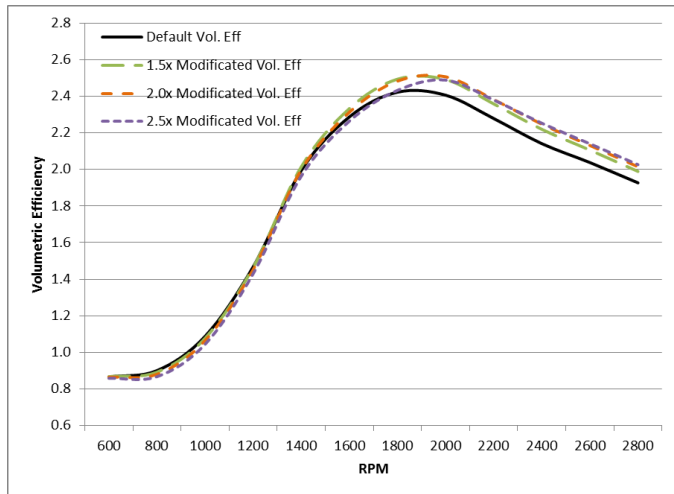
Perbandingan *volumetric efficiency* antara mode *default* dan mode *modified* dilakukan supaya mengetahui perbedaan *volumetric efficiency* dari beberapa mode tersebut. Tabel dan grafik dibawah ini



menyajikan perbedaan *volumetric efficiency* dari beberapa mode tersebut.

**Tabel 4.27** Tabel Data Selisih *Volumetric Efficiency*

Engine Speed	Vol.Eff. (Default)	Vol.Eff. (1.5x Mod)	Vol.Eff. (2.0x Mod)	Vol.Eff. (2.5x Mod)
RPM	fractional	fractional	fractional	fractional
2800	1.927	1.989	2.015	2.026
2600	2.038	2.106	2.131	2.140
2400	2.141	2.219	2.247	2.253
2200	2.278	2.358	2.382	2.380
2000	2.406	2.491	2.507	2.488
1800	2.422	2.494	2.483	2.432
1600	2.287	2.333	2.313	2.264
1400	1.995	2.014	1.998	1.964
1200	1.468	1.465	1.453	1.430
1000	1.088	1.077	1.064	1.044
800	0.901	0.892	0.881	0.867
600	0.866	0.868	0.865	0.858



**Gambar 4.43** Grafik Perbandingan *Volumetric Efficiency*

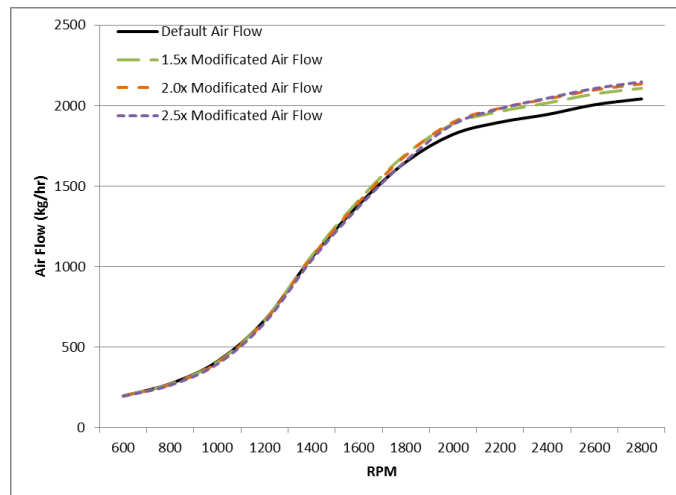
Efisiensi volumetrik memiliki bentuk grafik yang setara dengan grafik torsi. Hal ini menunjukkan bahwa semakin tinggi efisiensi volumetrik suatu mesin, maka torsi yang dihasilkan juga akan semakin tinggi dan sebaliknya.

➤ *Air Flow*

Perbandingan *air flow* antara mode *default* dan mode *modified* dilakukan supaya mengetahui perbedaan *air flow*. Tabel dan grafik dibawah ini menyajikan perbedaan *air flow* dari beberapa mode tersebut.

**Tabel 4.28** Tabel Data Selisih *Air Flow*

Engine Speed	Air Flow (Default)	Air Flow (1.5x Mod)	Air Flow (2.0x Mod)	Air Flow (2.5x Mod)
RPM	kg/hr	kg/hr	kg/hr	kg/hr
2800	2041.72	2107.64	2134.75	2146.76
2600	2004.96	2072.04	2096.94	2105.84
2400	1944.64	2015.71	2041.17	2045.79
2200	1896.87	1963.35	1983.19	1981.04
2000	1820.97	1885.63	1897.28	1883.28
1800	1650.14	1698.58	1691.39	1656.80
1600	1385.04	1412.69	1400.48	1371.01
1400	1056.90	1067.31	1058.63	1040.41
1200	666.82	665.42	659.84	649.55
1000	411.65	407.63	402.85	395.23
800	272.67	270.12	266.59	263.03
600	196.67	197.03	196.31	194.88



**Gambar 4.44** Grafik Perbandingan *Air Flow*

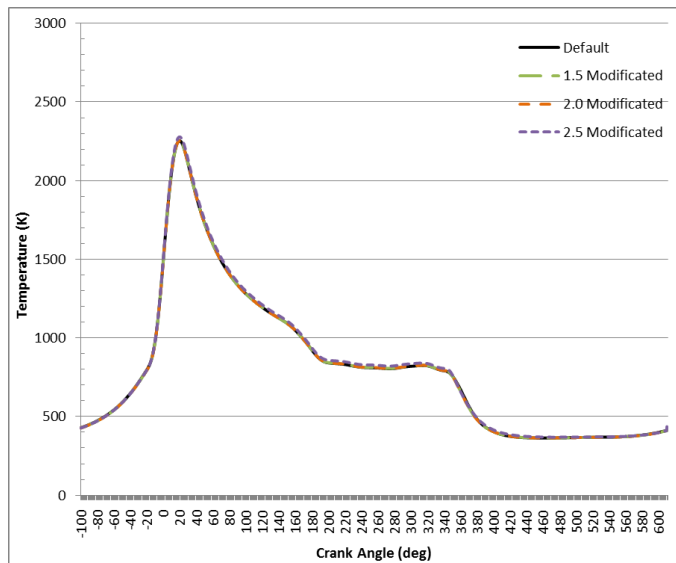
*Mass air flow* memiliki bentuk grafik yang setara dengan grafik *fuel flow* karena perbandingan rasio

udara dan bahan bakar yang relatif sama pada beberapa mode tersebut.

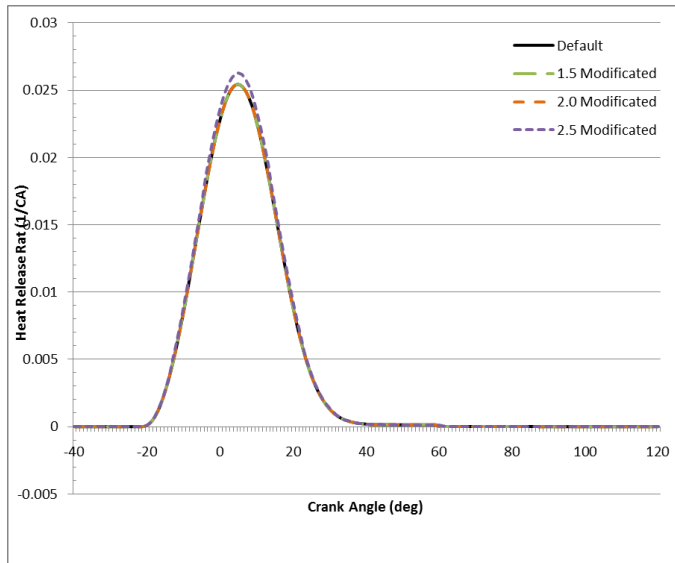
➤ **Temperatur Pembakaran dan *Heat Release Rate***

Grafik-grafik dibawah ini menunjukkan perbandingan temperatur dan *heat release rate* dari beberapa mode, yaitu mode *default*, mode *1,5x modified*, mode *2,0x modified*, dan mode *2,5x modified* pada tiap putaran mesin yang berbeda-beda.

**800 RPM**



**Gambar 4.45** Grafik Perbandingan Temperatur pada 800 RPM



**Gambar 4.46** Grafik Perbandingan *Heat Release* pada 800 RPM

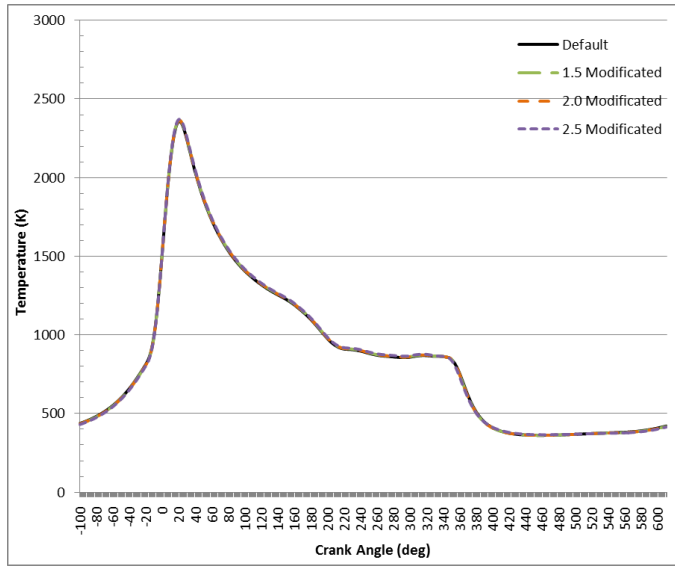
Dibawah ini adalah beberapa data diambil dari GT-POWER yang berhubungan dengan 2 grafik diatas :

- *Max. Temperature Default Lift* = 2253 K
- *Max. Temperature 1.5x Mod. Lift* = 2253 K
- *Max. Temperature 2.0x Mod. Lift* = 2260 K
- *Max. Temperature 2.5x Mod. Lift* = 2278 K
- *Max. Heat Release Def. Lift* = 0,025424
- *Max. Heat Release 1.5x Mod. Lift* = 0,025421
- *Max. Heat Release 2.0x Mod. Lift* = 0,025628
- *Max. Heat Release 2.5x Mod. Lift* = 0,026293

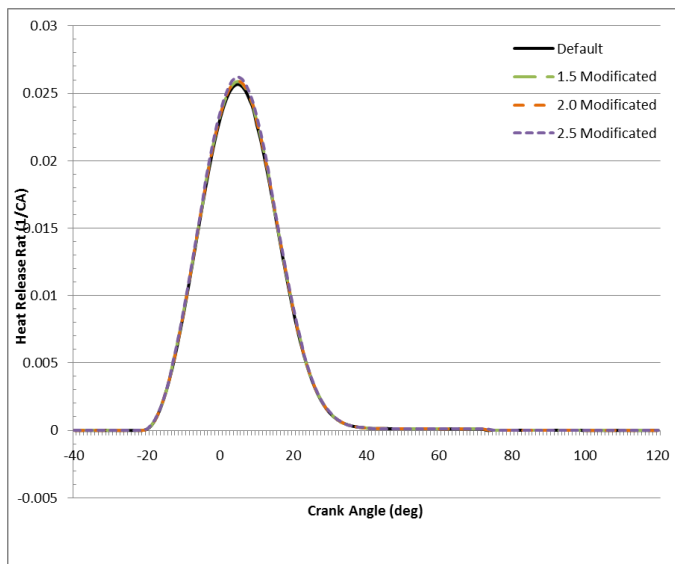
Dari data hasil simulasi pada sub-bab 4.2 dan 4.3 bahwa pada putaran mesin 800 RPM didapatkan data :

- *Power Default Lift* = 73,08 kW
- *Power 1.5x Modified Lift* = 72,20 kW
- *Power 2.0x Modified Lift* = 71,18 kW
- *Power 2.5x Modified Lift* = 69,99 kW
- *BSFC Default Lift* = 298,49 g/kWh
- *BSFC 1.5x Modified Lift* = 299,26 g/kWh
- *BSFC 2.0x Modified Lift* = 299,61 g/kWh
- *BSFC 2.5x Modified Lift* = 288,97 g/kWh

## 1400 RPM



**Gambar 4.47** Grafik Perbandingan Temperatur pada 1400 RPM



**Gambar 4.48** Grafik Perbandingan *Heat Release Rate* pada 1400 RPM

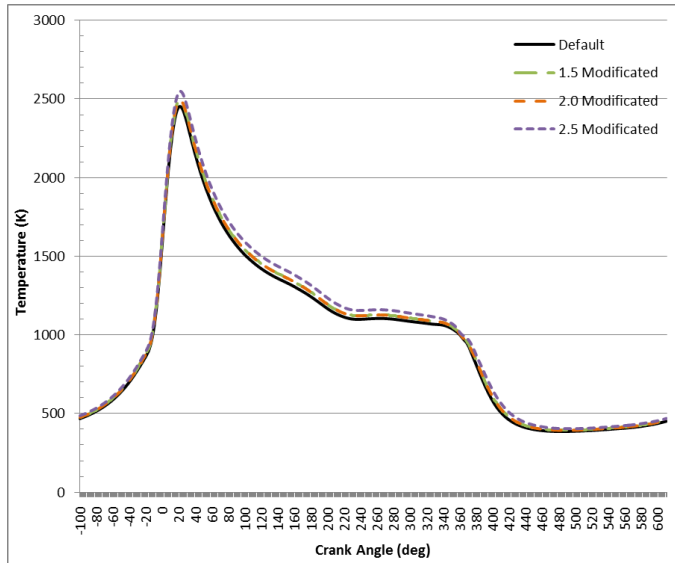
Dibawah ini adalah beberapa data diambil dari GT-POWER yang berhubungan dengan 2 grafik diatas :

- *Max. Temperature Default Lift* = 2358 K
- *Max. Temperature 1.5x Mod. Lift* = 2364 K
- *Max. Temperature 2.0x Mod. Lift* = 2367 K
- *Max. Temperature 2.5x Mod. Lift* = 2370 K
- *Max. Heat Release Def. Lift* = 0,025655
- *Max. Heat Release 1.5x Mod. Lift* = 0,025912
- *Max. Heat Release 2.0x Mod. Lift* = 0,026079
- *Max. Heat Release 2.5x Mod. Lift* = 0,026226

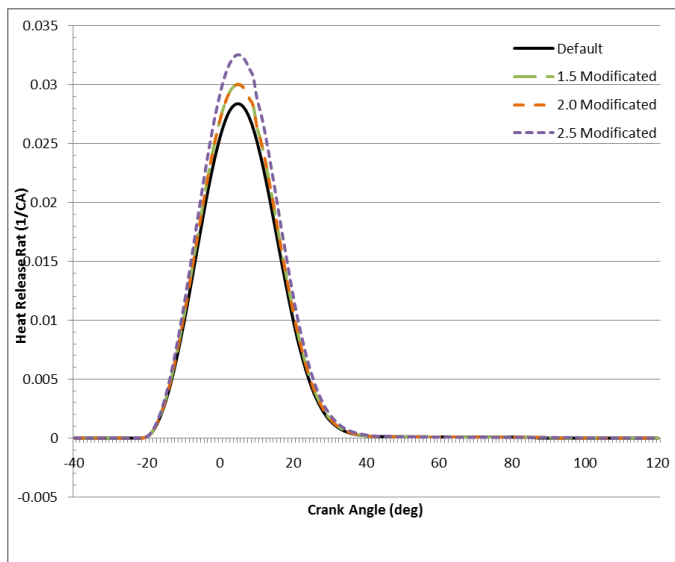
Dari data hasil simulasi pada sub-bab 4.2 dan 4.3 bahwa pada putaran mesin 1400 RPM didapatkan data :

- *Power Default Lift* = 332,37 kW
- *Power 1.5x Modified Lift* = 336,27 kW
- *Power 2.0x Modified Lift* = 333,51 kW
- *Power 2.5x Modified Lift* = 327,31 kW
- *BSFC Default Lift* = 254,37 g/kWh
- *BSFC 1.5x Modified Lift* = 253,90 g/kWh
- *BSFC 2.0x Modified Lift* = 253,90 g/kWh
- *BSFC 2.5x Modified Lift* = 254,25 g/kWh

## 2600 RPM



**Gambar 4.49** Grafik Perbandingan Temperatur pada 2600 RPM



**Gambar 4.50** Grafik Perbandingan *Heat Release* pada 2600 RPM

Dibawah ini adalah beberapa data diambil dari GT-POWER yang berhubungan dengan 2 grafik diatas :

- *Max. Temperature Default Lift* = 2453 K
- *Max. Temperature 1.5x Mod. Lift* = 2494 K
- *Max. Temperature 2.0x Mod. Lift* = 2523 K
- *Max. Temperature 2.5x Mod. Lift* = 2549 K
- *Max. Heat Release Def. Lift* = 0.028388
- *Max. Heat Release 1.5x Mod. Lift* = 0,030035
- *Max. Heat Release 2.0x Mod. Lift* = 0,031381
- *Max. Heat Release 2.5x Mod. Lift* = 0,032557

Dari data hasil simulasi pada sub-bab 4.2 dan 4.3 bahwa pada putaran mesin 2600 RPM didapatkan data :

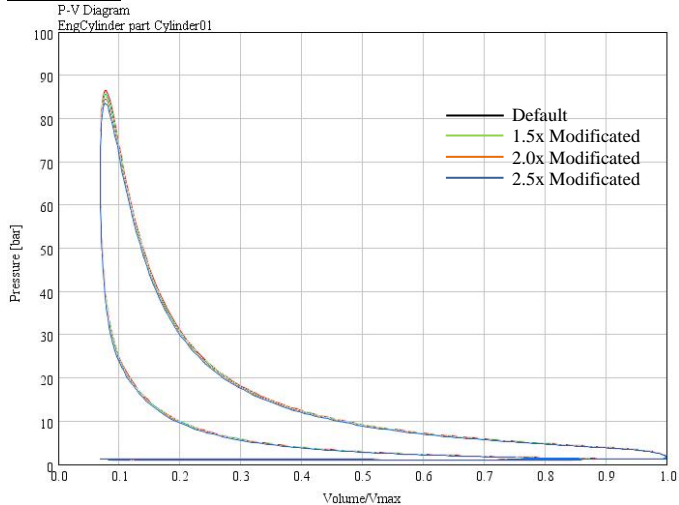
- *Power Default Lift* = 600,44 kW
- *Power 1.5x Modified Lift* = 623,92 kW
- *Power 2.0x Modified Lift* = 632,41 kW
- *Power 2.5x Modified Lift* = 635,17 kW
- *BSFC Default Lift* = 267,13 g/kWh
- *BSFC 1.5x Modified Lift* = 265,61 g/kWh
- *BSFC 2.0x Modified Lift* = 265,25 g/kWh
- *BSFC 2.5x Modified Lift* = 265,22 g/kWh

Beberapa grafik dan data diatas telah menunjukkan bahwa semakin tinggi nilai temperatur dan *heat release*, maka daya yang dihasilkan akan mengalami peningkatan dan bahan bakar yang digunakan akan semakin menguntungkan. Namun hal ini berkebalikan pada putaran mesin 800 RPM karena pada putaran mesin ini mode yang paling menguntungkan dari nilai daya dan BSFC adalah mode *default* sedangkan nilai temperatur dan *heat release* pada mode *modified* memiliki nilai yang lebih besar. Fenomena pada putaran mesin 800 RPM ini diakibatkan karena nilai *mass air flow* pada mode *default* ini lebih tinggi daripada nilai *mass air flow* pada mode *modified* sesuai pada pembahasan sebelumnya sehingga mode *default* mendapatkan daya yang lebih.



➤ Perbandingan *Pressure-Volume Diagram*

**800 RPM**



**Gambar 4.51** Perbandingan *P-V Diagram* pada 800 RPM

Dibawah ini adalah beberapa data diambil dari GT-POWER yang berhubungan dengan grafik diatas :

- *Max. Pressure Default Lift* = 86,53 bar
- *Max. Pressure 1.5x Mod. Lift* = 85,54 bar
- *Max. Pressure 2.0x Mod. Lift* = 84,54 bar
- *Max. Pressure 2.5x Mod. Lift* = 83,59 bar

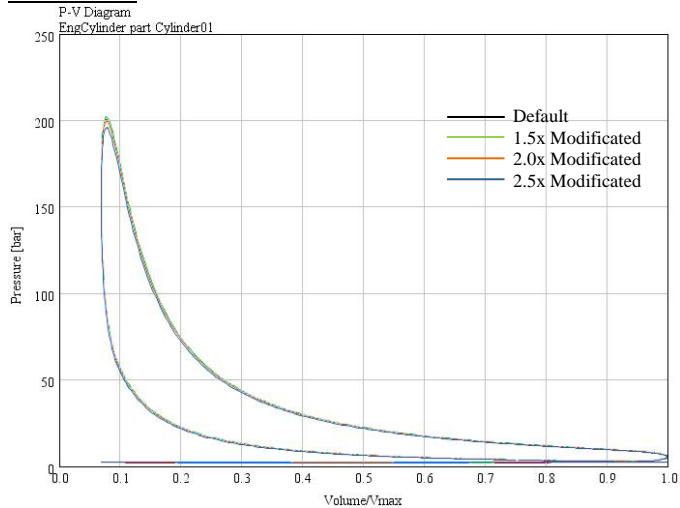
Dari data hasil simulasi pada sub-bab 4.2 dan 4.3 bahwa pada putaran mesin 800 RPM didapatkan data :

- *Power Default Lift* = 73,08 kW
- *Power 1.5x Modified Lift* = 72,20 kW
- *Power 2.0x Modified Lift* = 71,18 kW
- *Power 2.5x Modified Lift* = 69,99 kW
- *BSFC Default Lift* = 298,49 g/kWh
- *BSFC 1.5x Modified Lift* = 299,26 g/kWh
- *BSFC 2.0x Modified Lift* = 299,61 g/kWh
- *BSFC 2.5x Modified Lift* = 288,97 g/kWh

Data penelitian diatas menunjukkan bahwa pada putaran 800 RPM mesin memiliki hasil output daya dan BSFC yang lebih baik pada mode *default*. Hal ini

dibuktikan oleh diagram P-V diatas yang memperlihatkan bahwa nilai *pressure* pada mode *default* lebih besar daripada mode *modified* manapun.

### 1400 RPM



**Gambar 4.52** Perbandingan *P-V Diagram* pada 1400 RPM

Dibawah ini adalah beberapa data diambil dari GT-POWER yang berhubungan dengan grafik diatas :

- *Max. Pressure Default Lift* = 200,57 bar
- *Max. Pressure 1.5x Mod. Lift* = 201,99 bar
- *Max. Pressure 2.0x Mod. Lift* = 199,66 bar
- *Max. Pressure 2.5x Mod. Lift* = 195,77 bar

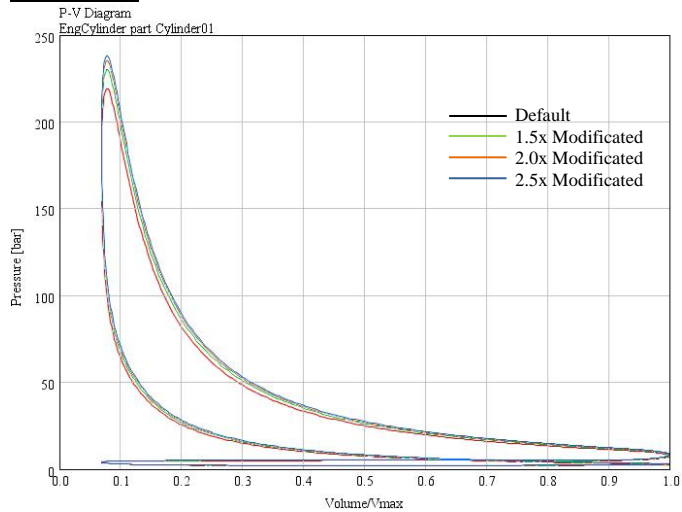
Dari data hasil simulasi pada sub-bab 4.2 dan 4.3 bahwa pada putaran mesin 1400 RPM didapatkan data :

- *Power Default Lift* = 332,37 kW
- *Power 1.5x Modified Lift* = 336,27 kW
- *Power 2.0x Modified Lift* = 333,51 kW
- *Power 2.5x Modified Lift* = 327,31 kW
- *BSFC Default Lift* = 254,37 g/kWh
- *BSFC 1.5x Modified Lift* = 253,90 g/kWh
- *BSFC 2.0x Modified Lift* = 253,90 g/kWh
- *BSFC 2.5x Modified Lift* = 254,25 g/kWh

Data penelitian diatas menunjukkan bahwa pada putaran 1400 RPM mesin memiliki hasil output yang

besar pada mode *1.5x Modified*. Hal ini dibuktikan oleh diagram P-V diatas yang memperlihatkan besarnya *pressure* pada mode *1.5x Modified*.

### 2600 RPM



**Gambar 4.53** Perbandingan *P-V Diagram* pada 2600 RPM

Dibawah ini adalah beberapa data diambil dari GT-POWER yang berhubungan dengan grafik diatas :

- *Max. Pressure Default Lift* = 219,192 bar
- *Max. Pressure 1.5x Mod. Lift* = 229,97 bar
- *Max. Pressure 2.0x Mod. Lift* = 235,22 bar
- *Max. Pressure 2.5x Mod. Lift* = 238,21 bar

Dari data hasil simulasi pada sub-bab 4.2 dan 4.3 bahwa pada putaran mesin 2600 RPM didapatkan data :

- *Power Default Lift* = 600,44 kW
- *Power 1.5x Modified Lift* = 623,92 kW
- *Power 2.0x Modified Lift* = 632,41 kW
- *Power 2.5x Modified Lift* = 635,17 kW
- *BSFC Default Lift* = 267,13 g/kWh
- *BSFC 1.5x Modified Lift* = 265,61 g/kWh
- *BSFC 2.0x Modified Lift* = 265,25 g/kWh
- *BSFC 2.5x Modified Lift* = 265,22 g/kWh

Data penelitian diatas membuktikan bahwa daya yang diperoleh sebanding dengan diagram P-V. Semakin besar daya, maka semakin besar nilai tekanan puncak pada diagram P-V.

#### 4.4.5 Pemilihan Buka-an Katup dan RPM yang Tepat untuk Pergantian Mode

Dari beberapa hasil yang telah didapatkan pada sub-bab 4.4.3 dan berdasarkan data penguat pada sub-bab 4.4.4 maka variasi buka-an katup yang tepat adalah pada *2.0x Modified Valve Lift*. Pemilihan ini berdasarkan hasil output engine yang memperlihatkan bahwa hasil keseluruhan yang diperoleh dari *2.0x Modified* dan *2.5x Modified* tidak terpaut jauh, namun dari *1.5x Modified* ke *2.0x Modified* yang masih memiliki selisih cukup besar. *2.0x Modified* juga dipilih berdasarkan dengan referensi dari file contoh GT-POWER *camswitching.gtm*. Hal ini dikarenakan pada penelitian ini tidak menghitung gaya yang bekerja pada cam. Terlalu tingginya *intake valve lift* dapat merusak cam karena bentuk cam yang lonjong. Jadi dalam penelitian ini *2.0x Modified* dipilih untuk buka-an katup yang tepat karena bentuknya yang tidak selonjong *2.5x Modified* dan berdasarkan hasil output engine yang tidak terpaut jauh. Besarnya buka-an katup mode *2.0x Modified* adalah 22,2 mm.

Pada sub-bab 4.4.5 ini juga akan dibahas mengenai RPM yang tepat untuk mengganti dari mode *Default* ke mode *2.0x Modified*. *Switching* atau pergantian mode ini bertujuan untuk mendapatkan daya dan konsumsi bahan bakar terbaik pada mesin.

Mode *Default* memiliki konsumsi bahan bakar yang lebih sedikit dan daya yang lebih besar pada RPM rendah. Konsumsi bahan yang rendah dibuktikan dengan nilai BSFC yang lebih rendah daripada mode *2.0x Modified* pada saat putaran 1200 RPM kebawah. Sebaliknya, mode *2.0x Modified* dapat memberikan daya yang lebih besar daripada mode *Default* pada saat putaran mesin 1400 RPM keatas. Mode *2.0x Modified* juga memberikan nilai BSFC yang lebih rendah pada saat RPM 1400 keatas. Mode ini digunakan saat mesin membutuhkan daya yang lebih.

Selanjutnya akan dilakukan interpolasi antara kedua putaran mesin yang telah diketahui diatas. Dari beberapa tabel perbandingan diatas didapat bahwa pergantian mode akan dilakukan antara putaran mesin 1200 RPM dan 1400 RPM. Interpolasi ini dihitung menggunakan aplikasi *Microsoft Excel* dengan fungsi yang bekerja adalah fungsi *FORECAST* sehingga mendapatkan hasil seperti pada tabel dibawah ini.

➤ Daya

**Tabel 4.29** Tabel Interpolasi Selisih Daya

Engine Speed	Power (Default)	Power (2.0x Mod.)	Power (Difference)
RPM	kW	kW	kW
1400	332.371	333.510	1.139
1380	318.985	319.758	0.773
1360	305.600	306.006	0.406
1340	292.214	292.254	0.040
1320	278.829	278.502	-0.326
1300	265.443	264.751	-0.692
1280	252.057	250.999	-1.059
1260	238.672	237.247	-1.425
1240	225.286	223.495	-1.791
1220	211.901	209.743	-2.158
1200	198.515	195.991	-2.524

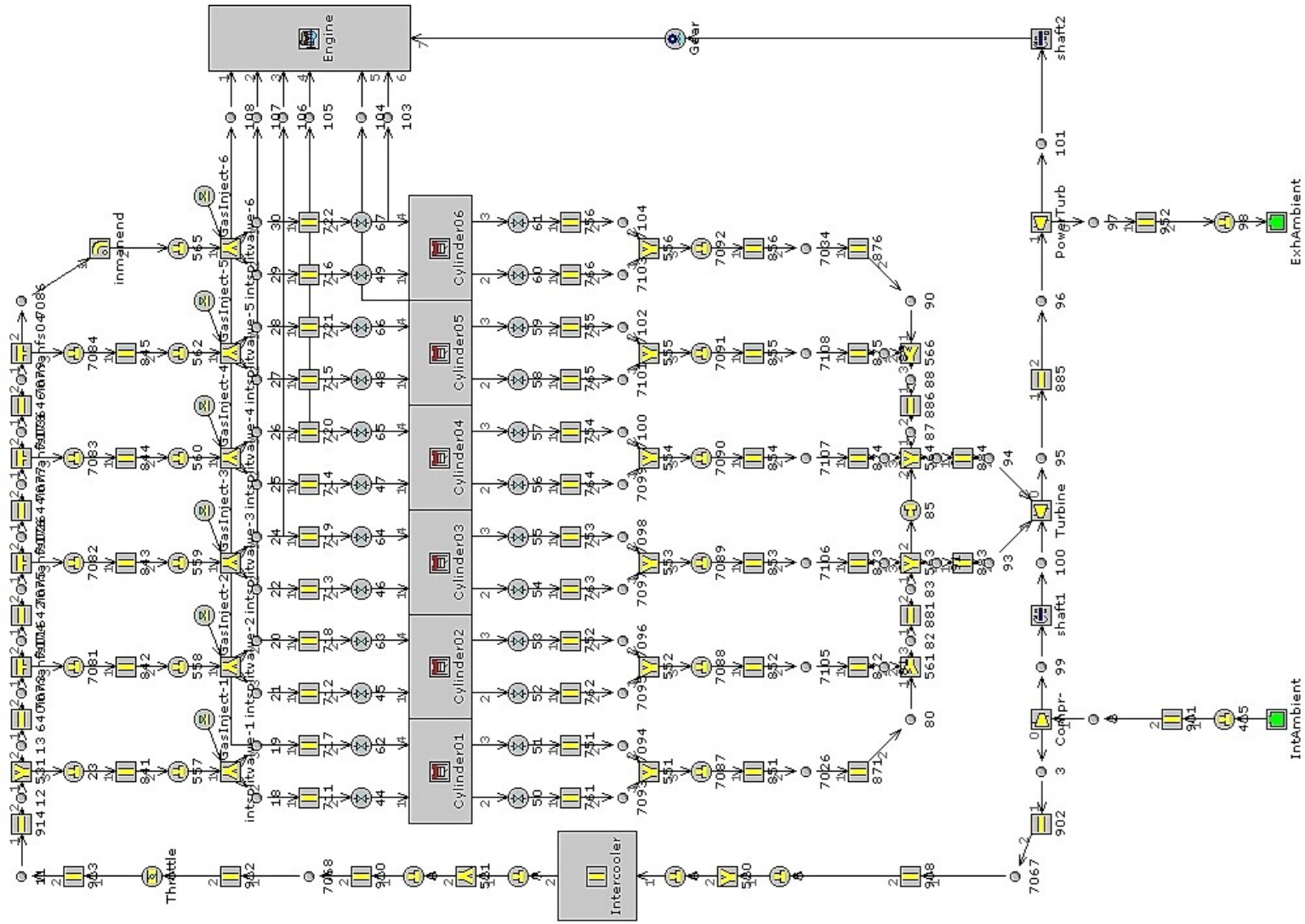
➤ BSFC

**Tabel 4.30** Tabel Interpolasi Selisih BSFC

Engine Speed RPM	BSFC (Default) g/kWh	BSFC (2.0x Mod.) g/kWh	BSFC (Difference) g/kWh
1400	254.366	253.896	-0.470
1380	255.805	255.443	-0.362
1360	257.244	256.990	-0.253
1340	258.682	258.538	-0.145
1320	260.121	<u>260.085</u>	-0.036
1300	<u>261.560</u>	261.632	0.072
1280	262.999	263.179	0.180
1260	264.438	264.726	0.289
1240	265.876	266.274	0.397
1220	267.315	267.821	0.506
1200	268.754	269.368	0.614

Nilai BSFC menunjukkan perubahan antara mode *Default* dan mode *2.0x Modified* pada 1300-1320 RPM. Sedangkan nilai daya menunjukkan perubahan antara mode *Default* dan mode *2.0x Modified* pada 1320-1340 RPM. Jadi dapat diperoleh hasil bahwa putaran mesin yang tepat untuk melakukan pergantian mode adalah pada 1320 RPM.

## **LAMPIRAN**





## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

Berdasarkan hasil simulasi dan pembahasan data, maka dapat disimpulkan bahwa:

1. Besarnya bukaan katup yang tepat adalah 11,1 mm dengan mode *Default* dan 22,2 mm dengan mode *2.0x Modified*.
2. Putaran mesin yang tepat untuk melakukan pergantian mode dari mode *Default* ke mode *2.0x Modified* dan sebaiknya adalah pada 1320 RPM.

#### **5.2 Saran**

Beberapa saran untuk penelitian ini adalah:

1. Simulasi tentang flow yang bekerja pada tiap-tiap mode secara desain 3D.
2. Study mengenai gaya yang bekerja pada *cam* yang telah dimodifikasi.
3. Dilakukan praktikum untuk memperoleh hasil yang realistik.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR PUSTAKA

“Acura/Honda Integra Type R Engine Information”. 2008.  
<http://www.integratyper.org/specs/engines.htm>

Bakar, R.A.; Kadirgama, K.; Rahman, M.M.; Sharma, K.V.; Semin. 2012. “*Application of Natural Gas for Internal Combustion Engines, Advances in Natural Gas Technology*”, Dr. Hamid Al-Megren (Ed.), ISBN: 978-953-51-0507-7, InTech.

Gamma Technologies. 2009. “*Engine Performance Tutorials*”. Oakmont Lane, Westmont, USA.

Honda Motor Co., Ltd. “*Honda Worldwide | Technology Picture Book / VTEC*”. <http://world.honda.com/automobile-technology/VTEC/>

Honda Motor Co., Ltd. “*Honda Worldwide | Technology Picture Book /i- VTEC*”. <http://world.honda.com/automobile-technology/i-VTEC/>

Pulkrabek, Willard W. 2003. “*Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*”. Platteville, New Jersey, USA.

Semin; Bakar, Rosli Abu; Ismail, Abdul Rahim. 2007. “*Effect Of Engine Performance For Four-Stroke Diesel Engine Using Simulation*”. The 5th International Conference On Numerical Analysis in Engineering, Padang, Indonesia.

Wärtsilä Corporation. 2015. “*Combustion Engine for Power Generation: Introduction*”. <http://www.wartsila.com/energy/learning-center/technical-comparisons/combustion-engine-for-power-generation-introduction>

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIOGRAFI PENULIS



Penulis dilahirkan pada tanggal 1 Januari 1995 di Malang, Jawa Timur. Penulis merupakan anak pertama dari tiga bersaudara. Penulis merupakan alumni dari SD Negeri Kebonsari III Surabaya, SMP Negeri 22 Surabaya, dan SMA Negeri 15 Surabaya. Penulis melanjutkan kuliah Strata 1 di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang terdaftar dengan NRP 4212100079 dan mengambil konsentrasi bidang keahlian *Marine Power*

*Plant* (MPP). Selama perkuliahan penulis aktif dalam organisasi Keluarga Mahasiswa Katolik ITS (KMK ITS) sebagai Staf Departemen Kerohanian pada tahun kedua perkuliahan dan sebagai Kepala Departemen Kerohanian pada tahun ketiga perkuliahan. Selain itu penulis juga pernah melakukan kerja praktek di Galangan Surya PT. Peln Surabaya dan PT. Wartsila Indonesia, Cikarang, Bekasi. Selama perkuliahan penulis juga sering mengikuti beberapa lomba, antara lain Marine Water Bike Contest dan Marine Pop-Pop Boat Race (Kapal Uap Mini).

Laurensius Henry Pratama Putra  
*laurenciushpp@gmail.com*